

**ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BOLOGNA**

FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI

**Dottorato di Ricerca in
Scienze Ambientali: Tutela e Gestione delle Risorse Naturali
XX Ciclo
AGR/14 Pedologia**

**USO SOSTENIBILE DEI SUOLI FORESTALI DI AMBIENTE
COSTIERO IN RELAZIONE AI FATTORI DI PRESSIONE
ESISTENTI**

Tesi presentata da: Dott. Denis Zannoni

Coordinatore:

Prof. Carlo Ferrari

Tutore: Prof. Enrico Dinelli

Relatore: Dott. Alessandro Buscaroli

A.A. 2006-2007

INDICE

1.	INTRODUZIONE.....	7
2.	INQUADRAMENTO DELLE AREE DI STUDIO.....	11
	2.1. SCELTA DELLE AREE DI STUDIO	11
	2.2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E FATTORI DETERMINANTI	
	LA PEDOGENESI.....	13
	2.2.1. Assetto geologico e geomorfologico.....	13
	2.2.2. Stratigrafia superficiale.....	17
	2.2.3. Assetto idrogeologico.....	18
	2.2.4. Assetto idrografico e sistemi di bonifica	22
	2.2.5. Evoluzione recente dell'area	25
	2.2.6. Subsidenza ed eustatismo.....	29
	2.2.7. Uso del suolo.....	33
	2.3. CARATTERIZZAZIONE DELLE ZONE BOSCADE LITORANEE	
	RAVENNATI	36
	2.4. INQUADRAMENTO PEDOLOGICO.....	39
3.	METODOLOGIA DI CARATTERIZZAZIONE PEDOLOGICA.....	43
	3.1. INDAGINE AMBIENTALE	43
	3.1.1. Ricerca bibliografica.....	43
	3.1.2. Il pedoclima	44
	3.1.3. Raccolta dei livelli informativi	46
	3.1.4. Analisi dei livelli informativi e Carta delle Unità di Paesaggio....	47
	3.2. INDAGINE PEDOLOGICA.....	48
	3.2.1. Apertura profili pedologici, descrizione e campionamento.....	49
	3.2.2. Materiali e metodi delle analisi di laboratorio.....	51
	3.2.3. Realizzazione Carta dei Suoli.....	57
	3.2.4. Elaborazione dei dati analitici.....	57

4.	CARATTERIZZAZIONE PEDOLOGICA DEI SITI DI STUDIO.....	59
4.1.	PINETA DI S. VITALE.....	59
4.1.1.	Indagine ambientale Pineta di S. Vitale.....	59
4.1.2.	Indagine pedologica Pineta di S. Vitale.....	75
4.1.2.1.	Carta dei Suoli Pineta di S. Vitale.....	95
4.1.2.2.	Elaborazione dei dati analitici di Pineta di S. Vitale	
4.2.	AREA BOSCATI DI BELLOCCHIO.....	101
4.2.1.	Indagine ambientale area boscata di Bellocchio.....	101
4.2.2.	Indagine pedologica area boscata di Bellocchio	105
4.2.2.1.	Carta dei Suoli area di Bellocchio.....	117
4.2.2.2.	Elaborazione dei dati analitici dell'area di Bellocchio.....	120
4.3.	PINETA DI CLASSE.....	128
4.3.1.	Indagine ambientale Pineta di Classe.....	128
4.3.2.	Indagine pedologica Pineta di Classe.....	132
4.3.2.1.	Carta dei Suoli di 1 ^a approssimazione.....	142
4.4.	PINETA DI PINARELLA DI CERVIA.....	144
4.4.1.	Principali aspetti del rilievo pedologico.....	144
5.	STUDIO SULL'INFLUENZA DELLA PROFONDITA' E DELLA QUALITA' DELLE ACQUE DI FALDA SULLA QUALITA' DEI SUOLI.....	149
5.1.	INDAGINE AMBIENTALE E SCELTA DELLA ZONA DI STUDIO	
5.2.	INDAGINE PEDOLOGICA.....	156
5.2.1.	Rilievo pedologico.....	156
5.2.2.	Materiali e metodi delle analisi di laboratorio.....	159
5.2.3.	Discussione risultati 1° campionamento.....	170
5.3.	MONITORAGGIO.....	197
5.3.1.	Risultati monitoraggio sito PZ1.....	199
5.3.2.	Risultati monitoraggio sito PZ3.....	207
5.3.3.	Risultati monitoraggio sito PZ4.....	211
5.3.4.	Risultati monitoraggio sito PZ7.....	224
5.3.5.	Risultati analisi acqua di mare.....	230

5.3.6.	Comportamento degli ioni solubili sulla CE ps rispetto alla curva di mescolamento di acqua di mare – acqua dolce.....	233
5.3.7.	Bilanciamento di carica e calcolo degli indici di saturazione.....	238
5.4.	CONSIDERAZIONI SULLA CLASSIFICAZIONE DEI SUOLI.....	247
5.5.	CORRELAZIONI TRA CE SUOLI E SALI SOLUBILI.....	249
5.6.	CORRELAZIONI TRA CE SUOLI E PRINCIPALI PARAMETRI AMBIENTALI	257
5.6.1.	Elaborazione di equazioni di regressione lineare.....	259
5.6.2.	Elaborazione di un modello su base statistica ed empirica per estrapolare la CE dei suoli	265
5.7.	VALIDAZIONE DEL MODELLO DI STIMA DELLA CE NEI SUOLI.....	270
6.	INDAGINE SULLA PRESENZA DI MICROTOSSICI NEI SUOLI...	275
6.1.	SCOPO DELL'INDAGINE.....	275
6.1.1.	Breve introduzione ai microtossici: Ag, Cd, Ni, Pb, Tl.....	276
6.2.	AREA DI INDAGINE.....	279
6.3.	MATERIALI E METODI DELLE INDAGINI SVOLTE.....	280
6.4.	RISULTATI ANALITICI.....	286
6.5.	ELABORAZIONE DATI.....	290
6.5.1.	Studio sulle correlazioni tra gli elementi.....	290
6.5.2.	Valori di background ed elaborazione dei dati analizzati.....	291
6.5.3.	Indagine sulla provenienza dei suoli.....	301
6.5.4.	Indagine sui fattori di arricchimento.....	302
6.6.	CONSIDERAZIONI RIASSUNTIVE.....	305
7.	RELAZIONI SUOLO-VEGETAZIONE.....	309
7.1.	RELAZIONE SUOLO-VEGETAZIONE DALLA CARTOGRAFIA PEDOLOGICA.....	309
7.1.1.	Biodiversità vegetazionale sui pedotipi di San Vitale e Bellocchio.....	310

7.1.2.	Risultati e discussioni.....	311
7.1.3.	Distribuzione dei pini sui suoli di Pineta San Vitale.....	315
7.2.	RELAZIONE TRA PROFONDITA' FALDA, SALINITA' SUOLO E VEGETAZIONE.....	317
7.2.1.	Risultati ottenuti dalla caratterizzazione pedologica.....	318
7.2.2.	Risultati ottenuti dal monitoraggio.....	319
7.2.3.	Confronto dei risultati in relazione alle esigenze di alcune specie vegetali.....	321
8.	VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI SUL SISTEMA SUOLO- VEGETAZIONE GENERATI DALLE PRINCIPALI PRESSIONI ESISTENTI.....	331
8.1.	UTILIZZO MODELLO DI STIMA DELLA CE SUOLI SUGLI ALTRI PUNTI DI MONITORAGGIO DELLA FALDA FREATICA.....	331
8.1.1.	Ricerca di periodi di criticità stagionale delle specie forestali sulla base dei dati stimati dal modello.....	333
8.1.2.	Congruenza dei dati ottenuti dal modello rispetto a quanto osservato dalla caratterizzazione pedologica.....	339
8.2.	CONSIDERAZIONI SUGLI IMPATTI IN RAPPORTO ALLE OSSERVAZIONI SVOLTE.....	342
9.	CONCLUSIONI.....	349
	BIBLIOGRAFIA.....	353
	ALLEGATO 1 SCHEDE PEDOLOGICHE.....	365
	ALLEGATO 2 CARTOGRAFIA PEDOLOGICA.....	413

1. INTRODUZIONE

L'ambiente di bassa pianura costiera, per sua natura, si presenta di transizione tra terra e mare, con connotati specifici e peculiari e con problematiche caratteristiche riscontrabili nelle diverse matrici ambientali che compongono tali ecosistemi.

Tra queste matrici il suolo gioca un ruolo fondamentale in quanto permette la vita dei vegetali dai quali l'uomo ricava le risorse per la propria sussistenza. Come riportato da vari autori (Duchaufour, 1970; Olson, 1981; Jenny, 1994; Casalicchio, 2006), il suolo prende origine nella pedosfera, il luogo in cui interagiscono le quattro sfere biogeochimiche (idrosfera, atmosfera, biosfera, litosfera) e va considerato come una risorsa limitata e non rinnovabile nei tempi di vita dell'uomo.

L'oggetto principale dello studio sono i suoli di ambiente litoraneo della Provincia di Ravenna, interessati da zone boscate ed in larga parte ricadenti all'interno dal Parco del delta del Po. Le coperture vegetazionali che insistono sui suoli studiati sono in buona parte rappresentate dalle pinete ravennati che rappresentano il residuo di alcune tra le principali aree boscate naturali della Pianura Padana (Diani e Ferrari, 2006) e assumono, oltre ad un elevato valore ambientale, anche una valenza paesaggistica e storico-turistica molto importante.

Come molte zone litoranee di bassa pianura anche la fascia costiera ravennate è soggetta alle dinamiche naturali tipiche di tali ambienti, quali: sedimentazione, erosione, subsidenza e salinizzazione alle quali, in tempi diversi, sono venute ad associarsene altre indotte dall'attività antropica (bonifiche, disboscamenti, rimboschimenti, urbanizzazione, impermeabilizzazioni, attività agricola, inquinamento industriale) generando un ambiente il più delle volte fragile e sensibile.

Nel territorio ravennate, a partire dagli anni '50, con l'inizio dello sfruttamento dei pozzi di metano e l'emungimento degli acquiferi di profondità, si è avuto un forte incremento della subsidenza che ha raggiunto il suo massimo durante gli anni '70-'80 (Teatini *et al.*, 2005), e che tuttora si fa sentire soprattutto dove le quote altimetriche sono meno elevate, andando ad abbassare la superficie freatica e compromettendo il naturale deflusso a mare delle acque (Giambastiani, 2006). Per tale motivo onde evitare ristagni idrici e garantire un franco di coltivazione sufficiente ai terreni agricoli retrostanti alle zone dunali costiere, si effettua il drenaggio meccanico mediante

l'ausilio di idrovore. L'azione di drenaggio tende però ad assottigliare l'acquifero di acqua dolce posto sopra all'acquifero di acqua salmastra che dal mare tende ad incunearsi da sotto e a risalire verso la superficie (Giambastiani, 2006).

Studi passati (Sandri, 1974; Aquater, 1988; Piazzì, 1988; Georgiou, 1996) testimoniano come l'intrusione del cuneo salino, causato dalle dinamiche antropiche sopra citate, abbiano portato alla progressiva salinizzazione dell'acquiferi, minacciando gli ecosistemi naturali del ravennate. Fenomeno che, stante il permanere delle medesime pressioni, risulta tuttora un problema, come evidenziato da Ugolini (1997), Ulazzi et al. (2005) e Giambastiani (2006).

Anche i suoli che si rinvergono, quali corpi naturali dinamici, risentono del persistere di tali fattori ed inoltre condizionano in maniera sostanziale lo sviluppo di associazioni vegetali specifiche e le possibili colture attuabili.

Nelle zone boscate in questione la subsidenza, unita alla salinizzazione dell'acquifero porta verso un peggioramento della qualità dei suoli, riconducibile a fenomeni quali salinizzazione, sodicizzazione, creazione di ambienti riducenti, deterioramento della struttura e riduzione dell'attività della biomassa microbica che nel loro insieme compromettono la capacità al sostentamento delle essenze vegetali presenti. Infatti, specie quali il pino domestico (*Pinus pinea*), il leccio (*Quercus pubescens*) o la roverella (*Quercus ilex*) sono adatte a suoli asciutti e ben drenati (Padula, 1968; Piccoli et al., 1999), molte altre invece sono adattate ad ambienti più umidi, ma non tollerano la salinità (Alaouin-Sossé et al., 1998; Sixto et al., 2006).

In quest'ottica quindi il suolo riveste un ruolo di primaria importanza in quanto in grado di influire sugli equilibri ecosistemici di un determinato ambiente e di esserne a sua volta influenzato.

Scopo dello studio è stato quello di migliorare la conoscenza dei suoli di tali ambienti e delle relazioni che intercorrono tra questi e le altre matrici ambientali, al fine di valutare strategie volte a mitigare gli impatti negativi che le pressioni esercitano su tale risorsa, favorendone per quanto possibile il mantenimento.

Pertanto la ricerca si è articolata mediante lo sviluppo di diversi aspetti legati alla pedologia di tali zone.

Una volta individuate le principali aree di studio, si è proceduto all'attivazione formale di un sistema concettuale, oltre che informativo geografico, all'interno del quale far confluire tutte le informazioni che mano a mano sono state raccolte.

Su tali aree è stata effettuata una caratterizzazione pedologica mediante lo sviluppo di un'apposita metodologia di indagine che ha permesso di regionalizzare la distribuzione delle tipologie di suolo esistenti portando alla realizzazione di cartografie pedologiche di maggior dettaglio.

Dalla sintesi dell'intero dataset di dati chimico-fisici, e alle osservazioni in campo, sono state individuate le relazioni esistenti tra le principali caratteristiche del suolo, della vegetazione e dell'acquifero freatico di superficie.

Mediante un monitoraggio su stazioni rappresentative si è poi cercato di quantificare gli impatti che la qualità dell'acquifero freatico e di alcune variabili ambientali possono avere sui suoli. I dati ottenuti sono stati modellizzati su base statistica ed empirica onde poter stimare la risposta dell'ecosistema suolo-vegetazione sulla base delle pressioni esistenti allo stato odierno e sulla base di scenari futuri ipotetici.

L'inserimento di questi nuovi elementi di conoscenza in un modello concettuale si è dimostrato utile per meglio comprendere quali azioni possano risultare sostenibili, in relazione alle scelte strategiche ed agli impatti sul sistema suolo e sulla vegetazione presente.

2. INQUADRAMENTO DELLE AREE DI STUDIO

2.1. SCELTA DELLE AREE DI STUDIO

Le aree sulle quali si è sviluppato lo studio sono quattro e comprese lungo la fascia costiera della Provincia di Ravenna. Sono visualizzate in figura. 2.1 e descritte sommariamente di seguito.

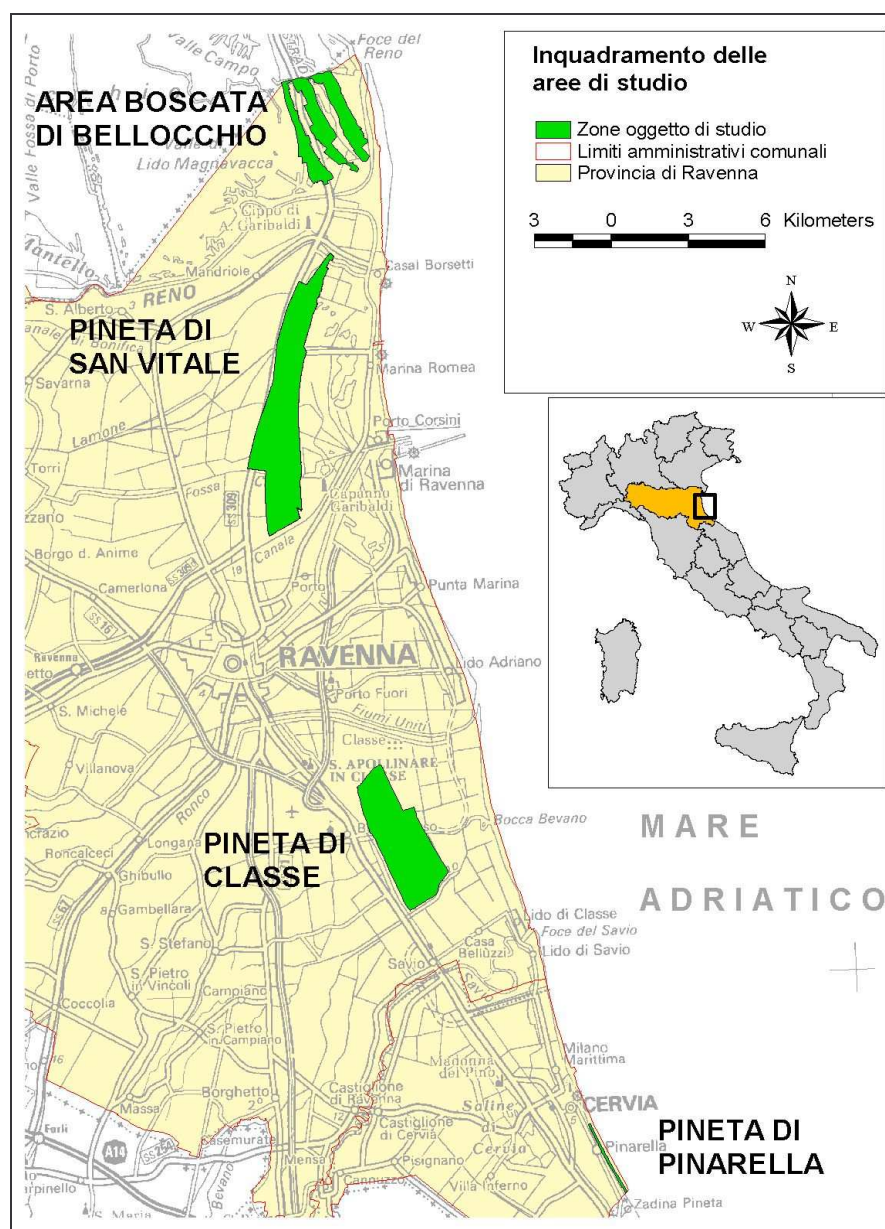


Figura 2.1. Inquadramento delle aree di studio.

Pineta di San Vitale. Si estende lungo la fascia costiera a nord di Ravenna per una lunghezza di circa 11 km, presenta una superficie di circa 1312 ha anche se un tempo la sua ampiezza era ben maggiore.

La Pineta di S. Vitale è compresa fra il Canale Destra Reno a nord, lo scolo Canala presso lo stabilimento Enichem a sud e la Piallassa Baiona ad est. Ad ovest il confine è costituito in parte dalla S.S. 309 Romea ed in parte dai vari canali di bonifica afferenti alle idrovore di Via Cerba e del II Bacino. Tutto il territorio della Pineta di S. Vitale è inserito all'interno del Parco del Delta del Po ed è classificato come Zona "Pre Parco", ad eccezione di alcune aree limitrofe alla S.S. 309 (Zona C). Inoltre è sottoposto a vincolo idrogeologico forestale su R.D. 3267/23 ed è area SIC e ZPS (IT4070003 – "Pineta di San Vitale e Bassa del Pirottolo") in base alle Direttive 79/409 e 92/43 CEE.

Per esigenze legate alla continuità della natura pedologica dell'area è stata inclusa anche la zona umida del Bardello, anch'essa sottoposta ai medesimi vincoli ed adiacente alla Pineta di S. Vitale.

Area boscata di Bellocchio. Le aree boscate di Bellocchio sono disposte lungo tre cordoni dunali paralleli alla costa. Questi sono situati nella propaggine più settentrionale del litorale ravennate, a nord del fiume Reno, tra l'Ancona di Bellocchio e il mare ad est, e le Valli di Comacchio ad ovest. La zona studiata è inserita nel Parco del Delta del Po come Zona "Pre parco", fa parte dell'area SIC-ZPS IT4060003 e parte di essa è sottoposta a vincolo idrogeologico forestale su R.D. 3267/23. Inoltre è una zona umida e come tale è inclusa, assieme alle Valli di Comacchio, nella Zona Ramsar, denominata "Valli residue del Comprensorio di Comacchio", istituita con D.M. 13/07/1981 (pubblicato sulla GU n. 203 del 25/07/1981).

Pineta di Classe. Si estende lungo la fascia costiera a sud di Ravenna per una lunghezza di circa 5,6 km e copre un'area di circa 917 ha. Il perimetro della parte nord è delimitato dallo scolo Fosso Vecchio, a sud dal torrente Bevano e ad est dalla zona umida dell'Ortazzo. Ad ovest il limite coincide in larga parte con la linea ferroviaria Ravenna-Rimini.

Anche la Pineta di Classe fa parte della Zona di Pre parco, è area SIC e ZPS (IT4070010) ed è sottoposta a vincolo idrogeologico forestale.

Pineta di Pinarella di Cervia. È una sottile fascia di pineta che si estende per una lunghezza di circa 3 km tra la spiaggia ed il centro abitato di Pinarella di Cervia. La Pineta di Pinarella è sottoposta a vincolo idrogeologico forestale ed è Riserva Naturale Statale denominata “Pineta di Ravenna contrada La Tagliata”, istituita su D.M. del 13/07/1977.

Queste quattro aree sono state scelte poiché, seppur apparentemente simili, presentano a livello di ecosistema, differenze sia fra di esse che nel loro interno, indotte da fattori ambientali ed antropici tali da lasciar presupporre uno sviluppo della pedogenesi significativamente vario e differenziato. Le Pinete di S. Vitale e Classe, essendo di più antica formazione, presenteranno suoli leggermente più evoluti rispetto a quelli delle pinete più recenti a ridosso dell’arenile, pur essendo entrambi soggetti a fenomeni di possibile degrado in funzione delle pressioni esistenti. Situazioni altrettanto varie si sono supposte nell’area di Bellocchio.

2.2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E FATTORI DETERMINANTI LA PEDOGENESI

2.2.1. Assetto geologico e geomorfologico

La pianura costiera romagnola, nella quale si inseriscono le zone oggetto di studio rappresenta la parte sud-est della pianura del fiume Po. La dinamica di sedimentazione nella fascia costiera è stata controllata prevalentemente da fluttuazioni climatiche ed eustatiche.

La litologia che ha dato origine al substrato pedogenetico sul quale si sono formati i suoli è costituita da apporti sedimentari di tipo alluvionale e deltizio – litoraneo (figura. 2.2) la cui epoca di formazione è successiva alla trasgressione olocenica. Questa ebbe luogo al termine dell’ultima glaciazione (circa 17000 anni fa) e portò, circa 6000 anni fa, alla massima ingressione del mare Adriatico, inoltratosi nella pianura nord ravennate sino a circa 20 km ad ovest della linea di costa attuale (Bondesan, 1985; Veggiani, 1974; Correggiati *et al.*, 1996).

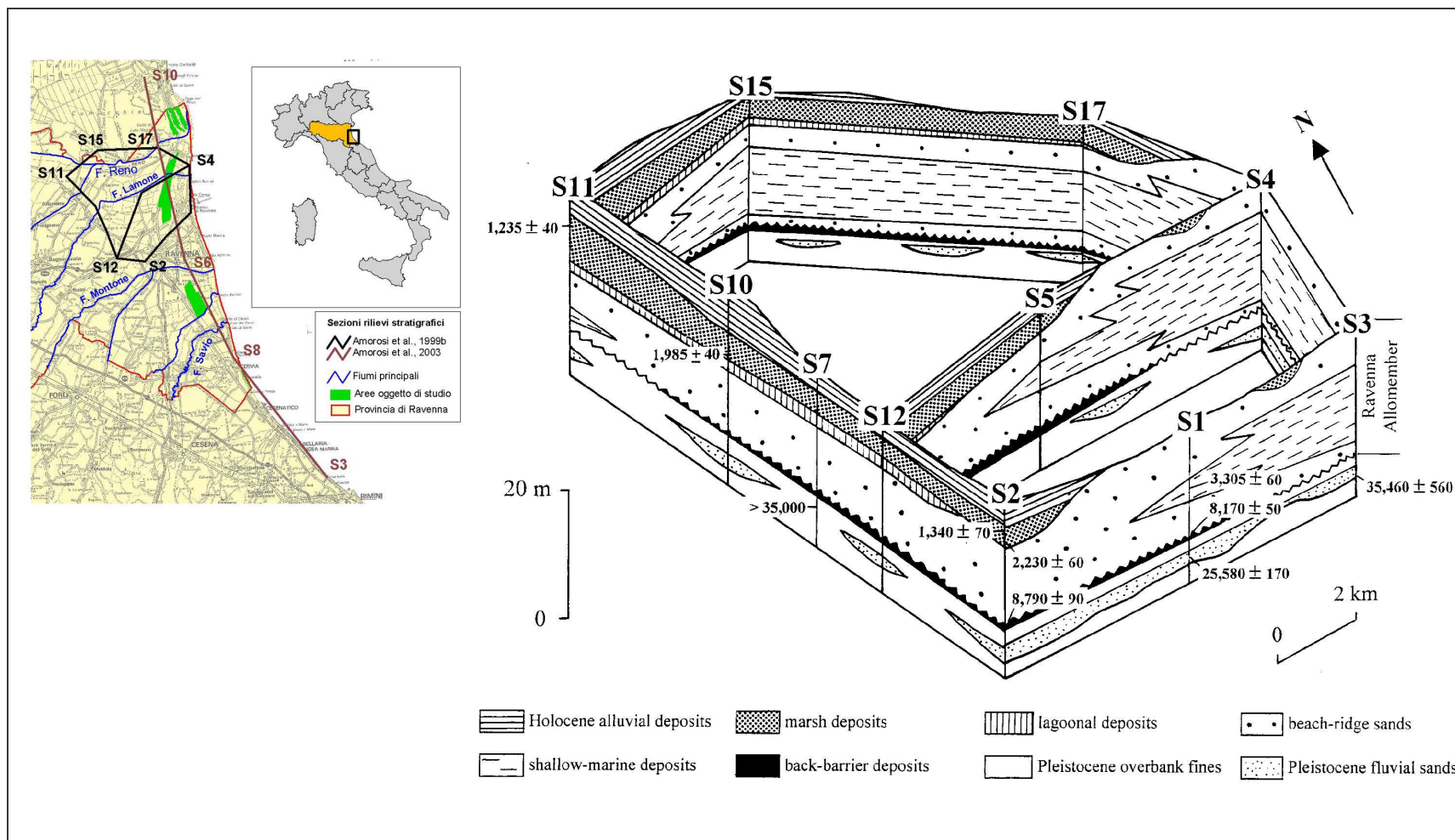


Figura 2.2. Diagramma a recinto mostrante l'architettura stratigrafica dei depositi superiori del Pleistocene e dell'Olocene del sud-est della pianura del Po. Sono indicate le datazioni al ^{14}C (Amorosi *et al.*, 1999b modificato).

Dai diversi rilevamenti stratigrafici effettuati nel ravennate (figura 2.2), la trasgressione olocenica è documentata da un sottile strato di depositi lagunari di retrocosta (back-barrier deposit) ad una profondità di circa 25 – 30 m (8000 – 9000 anni fa), ricoprente i sedimenti alluvionali pedogenizzati di tipo continentale (Pleistocene overbank fines). Sopra di essa si osservano strati sedimentari di cordone costiero e di ambiente marino costiero prodeltaico che man mano vanno assottigliandosi verso l'entroterra (Amorosi *et al.*, 1999a; Amorosi *et al.*, 1999b; Amorosi e Marchi, 1999). La presenza dell'ambiente marino basso costiero è documentata anche dalla presenza di diverse associazioni di ostracodi e foraminiferi fossili correlate da indagini palinologiche effettuate in diversi siti di perforazione (Veggiani, 1974; Amorosi *et al.* 2004). Il successivo graduale avanzamento della linea di costa è poi espresso dallo strato di sabbia di cordone dunale (figura 2.2).

Negli ultimi 2000 anni a causa delle oscillazioni verticali sia negative che positive del mare e di fenomeni di subsidenza, si sono verificati fenomeni di avanzamento e di arretramento della linea di costa a cui corrispondono fenomeni di avanzamento e di emersione (durante i quali si sono creati cordoni sabbiosi per opera del moto ondoso e del trasporto litoraneo) e di sommersione in cui l'ambiente si è trasformato in palustre ad acqua dolce prima e successivamente lagunare ad acqua salmastra con deposizione di argilla.

Complessivamente la tendenza progradazionale ha portato alla formazione di una serie di cordoni litoranei sabbiosi che rappresentano la traccia sedimentaria e paleomorfologica delle numerose linee di costa formatesi in tale periodo di avanzamento e sono intercalati da ambienti vallivi e lagunari con deposizione di argille e limi torbosi (Bondesan *et al.*, 1978).

La morfologia del territorio in esame rispecchia quindi le vicende geologiche sopra citate. Le quattro aree di studio si insediano quindi su paleodune con andamento subparallelo alla costa, formati in seguito alla progradazione della linea di riva dovuta agli apporti sedimentari dei corsi d'acqua Po di Primaro (Reno), Lamone, Montone, Ronco e Savio (figura 2.3). Nella morfologia delle pinete è ancora oggi osservabile l'alternanza tra dossi, cosiddetti “staggi”, e depressioni interdunali, denominate “basse o bassure” dove l'acqua ristagna più o

meno perennemente. La morfologia influenza notevolmente la distribuzione della vegetazione e lo sviluppo dei suoli.

L'altimetria media in metri s.l.m.m. è di circa 0.78 per la Pineta di S. Vitale e 1.21 per la Pineta di Classe. Solamente nell'area boscata di Bellocchio sono presenti anche zone sotto il livello medio mare.

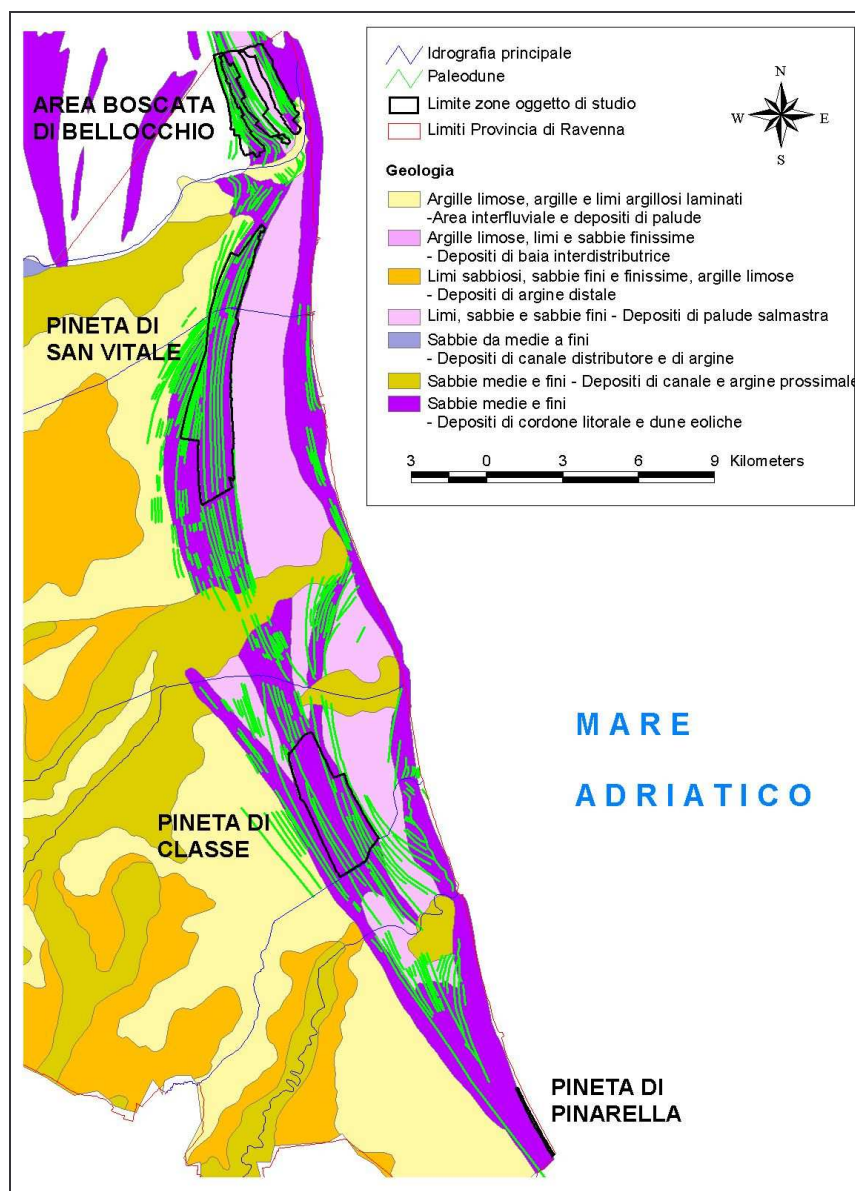


Figura 2.3. Mappa della geologia (RER, 1999) e della distribuzione delle paleodune.

2.2.2. Stratigrafia superficiale

In base alle vicende geologiche sopra descritte e considerando le rilevazioni effettuate da Aquater (1988), si osserva che al di sotto dello strato di alterazione pedogenetica di spessore 0,5 – 1 m, la stratigrafia è costituita da un’alternanza di sedimenti sabbiosi limosi con prevalenza dei termini sabbiosi fino a circa 10-15 m di profondità. Questi depositi sono dovuti alla fase di regressione marina.

Al di sotto, sino a circa 22 m dal piano di campagna si osservano limi argillosi e sabbiosi riconducibili ai depositi di prodelta, mentre da 21 m a circa 26 m di profondità si ha l’aumento della frazione sabbiosa a testimonianza dell’avvenuta trasgressione olocenica. Infine dai 25 fino ai 30 m si hanno le argille e i limi dei depositi alluvionali precedenti alla trasgressione. Quest’ultimo strato costituisce il basamento impermeabile dell’acquifero freatico, le cui profondità sono state recentemente meglio definite nel lavoro di Giambastiani (2006) per quanto riguarda l’area di Pineta S. Vitale.

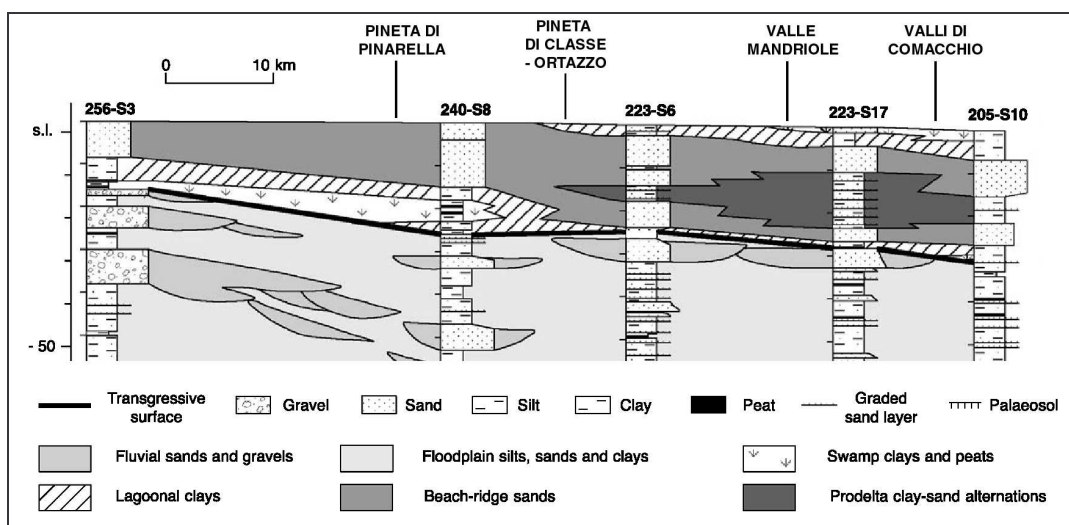


Figura 2.4. Architettura delle facies subsuperficiali della Pianura del Po, mostranti le suddivisioni stratigrafiche nelle sequenze trasgressive-regressive. Descrizione litologica dei cores 256-S3 e 240-S8 dai fogli 256 (Rimini) e 240 (Forlì) della Carta Geologica d'Italia (Amorosi *et al.*, 2003 modif.).

Da altri rilievi geognostici (Amorosi *et al.*, 2003) si osserva inoltre che, muovendosi lungo l’attuale linea di costa, la linea di trasgressione olocenica tende a diminuire di profondità verso sud e verso ovest. Allo stesso modo gli strati di sedimenti limosi prodeltaici, che sotto la zona di Bellocchio misurano circa 12 m

(Curzi *et al.*, 2006) diminuiscono di spessore nelle medesime direzioni, sino a scomparire tra Ravenna e Cervia (figura 2.4).

2.2.3. Assetto idrogeologico

Dalle indagini idrogeologiche raccolte nel Piano di Tutela delle Acque (RER, 2003) gli acquiferi della Regione Emilia-Romagna posso essere suddivisi in tre grandi gruppi, denominati dall'alto verso il basso A, B e C. I gruppi di acquiferi sono separati tra loro da acquitardi principali e al loro interno sono costituiti da svariati complessi di acquiferi minori.

Il sottosuolo delle aree di studio è compreso nell'acquifero A (A0-A1) ed è caratterizzato da depositi di pianura costiera che si sviluppano nel settore orientale della pianura emiliano-romagnola, lungo la fascia costiera allineata nord-sud. Questi acquiferi si sviluppano per uno spessore massimo di 25-30 metri e sovrastano i sottostanti acquiferi alluvionali. Essendo di natura prevalentemente sabbiosa presentano una buona permeabilità ridotta localmente dalla presenza di limi (RER, 2003).

Gli studi effettuati da Aquater (1994; 1988b) e le misure effettuate nella rete di monitoraggio delle acque sotterranee (RER, 2004) indicano che nella fascia costiera i depositi saturi in acque salate sono a contatto diretto con le sabbie marine, sature in acqua salata. Pertanto, in condizioni di gradienti piezometrici minimi o addirittura negativi della superficie freatica, azioni di emungimento idrico o di drenaggio molto spinto, inducono lo spostamento verso terra dell'interfaccia tra acque dolci e salate. Tale fenomeno si rifà al principio di Ghiben-Herzberg (Bear *et al.*, 1999) che stabilisce la profondità dell'interfaccia acqua dolce – acqua salata proporzionalmente alla quota freatica della tavola d'acqua.

L'alimentazione dell'acquifero freatico di acqua dolce avviene attraverso le precipitazioni meteoriche, gli apporti di acqua dai fiumi e dal sistema di canali e scoli di bonifica. Come dimostrato tuttavia anche dagli studi più recenti (Giambastiani, 2006), spesso la ricarica da queste fonti non è sufficiente a controbilanciarne le asportazioni (drenaggio, emungimenti e fenomeni evapotraspirativi), nondimeno a mantenere un gradiente piezometrico verso il mare.

L'avvicinamento dell'interfaccia acqua dolce acqua salata alla superficie della tavola d'acqua, per il graduale assottigliamento dell'acquifero freatico di acqua dolce è peraltro una problematica evidenziata da diversi decenni lungo tutta la fascia costiera. Le particolarità di ogni zona considerata verranno di seguito brevemente illustrate.

Pineta di San Vitale. Già da rilievi condotti negli anni '80 (Aquater, 1988) si è osservato che i livelli piezometrici in molte zone della pineta sono inferiori a quelli marini per la quasi totalità dell'anno. Inoltre i piezometri prossimi ai corsi d'acqua in diretto contatto col mare e quelli vicino alla Piallassa sono caratterizzati da un andamento oscillante in dipendenza dell'alta marea. Successivi rilevamenti (Aquater, 1994) hanno messo in evidenza l'influenza del pompaggio delle idrovore sulla diminuzione dei livelli piezometrici, in prossimità di queste. Dal recente lavoro di Giambastiani (2006) emerge poi che le isofreatiche non presentano grandi variazioni stagionali per via del fatto che i livelli freaticometrici sono costantemente governati dalle idrovore che drenano i campi agricoli adiacenti. Le maggiori oscillazioni stagionali sono registrate nella zona centrale della pineta che risente della ricarica per infiltrazione diretta del fiume Lamone e del Canale Fossatone.

Nella zona meridionale e settentrionale, le quote piezometriche sono per vaste aree perennemente sotto al livello del mare ed è chiaramente visibile un gradiente verso terra delle isofreatiche. Nella parte nord si osserva il maggior abbassamento piezometrico per azione di idrovora (idrovora "II – Bacino Casalborsetti") benché le altimetrie siano le più elevate. La parte sud, invece, compresa tra lo Scolo Via Cerba e Canale Canala, appare sicuramente come la più critica poiché ha subito il maggior abbassamento per subsidenza.

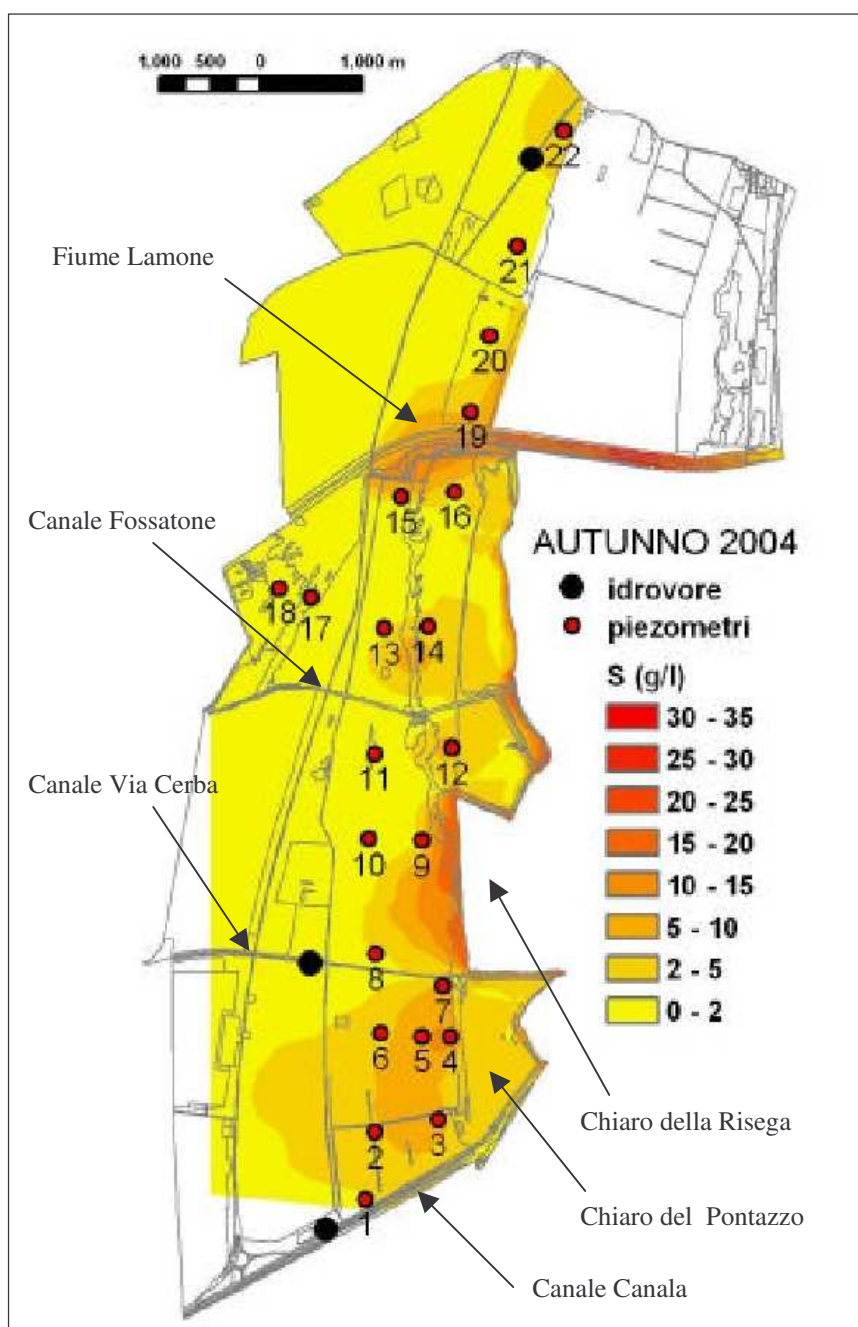


Figura 2.5. Mappa di distribuzione della salinità superficiale nel periodo autunno 2004 (Giambastiani, 2006).

Dai monitoraggi condotti dagli anni 80 all'oggi, in generale, si è sempre osservato un gradiente positivo di salinità da ovest verso est e dalla superficie alla profondità. Nei rilievi più recenti (Giambastiani, 2006) si osserva un aumento della salinità in prossimità del fiume Lamone per risalita dell'acqua di mare, specialmente in estate e autunno (figura 2.5); per contro in prossimità dei canali

Fossatone, Via Cerba e Canala si hanno diminuzioni di salinità rispetto alle zone più distali. Negli ultimi anni infatti la chiusura al mare di parte dei bacini delle Piallasse (chiari) prospicienti alla pineta ha impedito la risalita di acqua salmastra lungo i canali confluenti in esse. Tuttavia il carico idraulico di questi chiari risulta insufficiente ad impedire la risalita di acqua salata dal fondo (Giambastiani, 2006).

Area boscata di Bellocchio. L'acquifero freatico di acqua dolce è limitato inferiormente da acque salmastre la cui origine è da mettere in relazione sia coi fenomeni d'infiltrazione laterale dai corpi idrici salmastri (Valli di Comacchio e Vene di Bellocchio), sia per intrusione salina direttamente dal mare. La presenza di acque dolci nelle zone al di sotto del livello medio mare è da imputarsi all'azione di controllo svolta dal reticolo idraulico superficiale sull'interfaccia con l'acqua salata, per mezzo dell'apporto di acque irrigue (Abu-Zeid *et al.*, 1998). Rilievi effettuati nel 1991 poco a nord dell'area di indagine (lido di Spina) mostravano come l'interfaccia con l'acqua salata fosse oscillante tra i -1 e -3 metri sul l.m.m. (Giovannini, 1998). Gli ultimi studi (Bishop, 2005), pur rilevando valori localizzati di salinità anche superiori all'acqua di mare, hanno osservato nell'Ancona di Bellocchio a sud del canale Gobbinò un'area a generale bassa salinità (3-6 g/l), forse imputabile alla presenza di una falda da ricondursi alla discreta conservazione del cordone dunale più recente.

Pineta di Classe. Da rilievi effettuati nel periodo 1994-1996 si osserva lo zero isofreatico attorno al canale Fosso Ghiaia, al torrente Bevano e all'area dell'Ortazzo con direzione di flusso della falda verso nord per l'area settentrionale e verso sud per l'area centro-meridionale. Per via della subsidenza, la profondità di falda dal piano campagna risulta diminuita rispetto al passato (1975) nella zona sud, dove non supera mai i 2 m dal p.c.. Nella zona nord, maggiormente drenata, i valori si attestano sui 2-3 m dal p.c. (Georgiou, 1996).

La salinità, espressa come conduttività elettrica a 25°C (C.E.) presenta i valori maggiori in corrispondenza dei principali collettori e in una fascia lungo l'Ortazzo. Vi è poi una discreta corrispondenza tra andamenti piezometrici e salinità della falda. Generalmente nelle zone più depresse si hanno valori di C.E. maggiori rispetto alle zone più rilevate (Georgiou, 1996).

Pineta di Pinarella di Cervia. Qui si assiste al notevole innalzamento dell'acquifero durante i periodi piovosi invernali, portando all'allagamento temporaneo delle zone meno rilevate. La permanenza di condizioni sature nei suoli sabbiosi della pineta porta alla perdita delle loro capacità coesive rispetto alle radici delle piante. Le cadute di pini per il verificarsi di tali condizioni rappresentano il principale problema. L'acquifero lungo la costa presenta valori di salinità inferiori a 2-3 g/l anche se l'andamento dell'interfaccia con l'acqua salata evidenzia l'intrusione salina (Ulazzi *et al.*, 2005).

2.2.4. Assetto idrografico e sistemi di bonifica

Il sistema idrologico che gravita attorno alle aree di studio è molto articolato e caratterizzato da corsi d'acqua rettificati, chiuse, sottopassi e idrovore. Il sistema, specialmente per quanto riguarda le pinete di S. Vitale e Classe, è pressoché totalmente controllato dall'uomo.

Secondo quanto indicato da Bagnari e Rossi (1996), i bacini idrografici all'interno dei quali ricadono le aree di studio sono rispettivamente: Po di Volano per l'area di Bellocchio, canale Destra Reno per la porzione settentrionale di Pineta S. Vitale, fiume Lamone per la parte centro-meridionale di Pineta S. Vitale, torrente Bevano per Pineta di Classe e fiume Savio per Pineta di Pinarella. L'idrografia e le principali direzioni di circolazione delle acque sono indicate in figura 2.6, sulla base del piano di gestione del sito "San Vitale" (Comune di Ravenna, 1998) e di altri lavori (Pellegrini, 2005; Ulazzi *et al.*, 2005; Bonora *et al.*, 2004). Sono di seguito descritte le principali aree ed il loro reticolo idrografico.

Pineta di San Vitale. Oltre al fiume Lamone, è attraversata da numerosi canali e scoli. Procedendo da nord a sud si trova il Canale di Taglio della Baiona, che ha origine nella zona umida di Ponte Alberete. Dal 1994 dispone di una chiavica che in condizioni di alta marea impedisce la risalita di acqua marina.

Si incontra poi il Canale Fossatone, che alimenta Ponte Alberete ed attraversando la pineta sbocca in Piallassa Baiona. Il Fossatone alimenta inoltre l'impianto di potabilizzazione di Ravenna e lo stabilimento industriale Enichem tramite l'omonima canaletta che percorre da nord a sud la pineta.

Più a sud si trova il Canale Via Cerba che raccoglie, a monte dell'omonima idrovora, le acque di un bacino agricolo di circa 7700 ha, oltre a ricevere lo scarico diretto dell'impianto di depurazione della vecchia discarica di Ravenna e le acque meteoriche provenienti dal nuovo polo di smaltimento rifiuti (Angelini e Strumia, 1994).

Il confine meridionale della pineta è delimitato dallo Scolo Canala, canale circondariale della cassa di colmata del Lamone che convoglia tramite idrovora le acque drenate dal bacino unificato Canala-Val Torto avente una superficie di 7000 ha (Angelini e Strumia, 1994).

Le idrovore che scaricano le acque nei canali afferenti, entrano in funzione solo quando il livello delle acque raggiunge un certo valore. Allo stesso modo immissioni discontinue sono effettuate dagli impianti industriali, in relazione al grado di utilizzo degli impianti. Risulta pertanto difficile descrivere per tale sistema una situazione media di funzionamento

Area boscata di Bellocchio. E' delimitata a nord dal Canale Bellocchio-Gobbino che collega le Valli di Comacchio al mare attraversando le Vene e l'Ancona di Bellocchio. All'interno dell'area mette pertanto in comunicazione i vari specchi d'acqua salmastra, permettendo il ricircolo delle acque. Dagli studi eseguiti (Simeoni *et al.*, 2000 e 2002) si è evidenziato come la sua foce sia soggetta ad occlusione per l'intenso apporto di sedimenti, provenienti dall'erosione della foce del Reno e trasportati verso nord dalla corrente litoranea. Un monitoraggio effettuato successivamente ai lavori di riapertura del canale (Bonora *et al.*, 2004) ha messo in evidenza come, nonostante le nuove condizioni, la gestione delle opere di regimazione tenda a ridurre i volumi e la velocità dei flussi in uscita a discapito della vitalità della foce. Le osservazioni successive (2005) hanno poi verificato il reinsabbiamento della foce dopo un anno dai lavori (Bishop, 2005). Sempre in Simeoni *et al.*, 2002 viene poi proposto di aumentare l'efficienza del ricambio delle acque facilitando l'ingresso delle maree attraverso la costruzione di canali sommersi nelle Vene di Bellocchio, sull'esempio delle piallasse ravennate.

Pineta di Classe. L'idrologia superficiale della zona in cui è compresa la pineta di Classe, è costituita da due principali corsi d'acqua: il canale Fosso Ghiaia, che divide la pineta a metà, ed è responsabile della risalita di acqua salata durante i

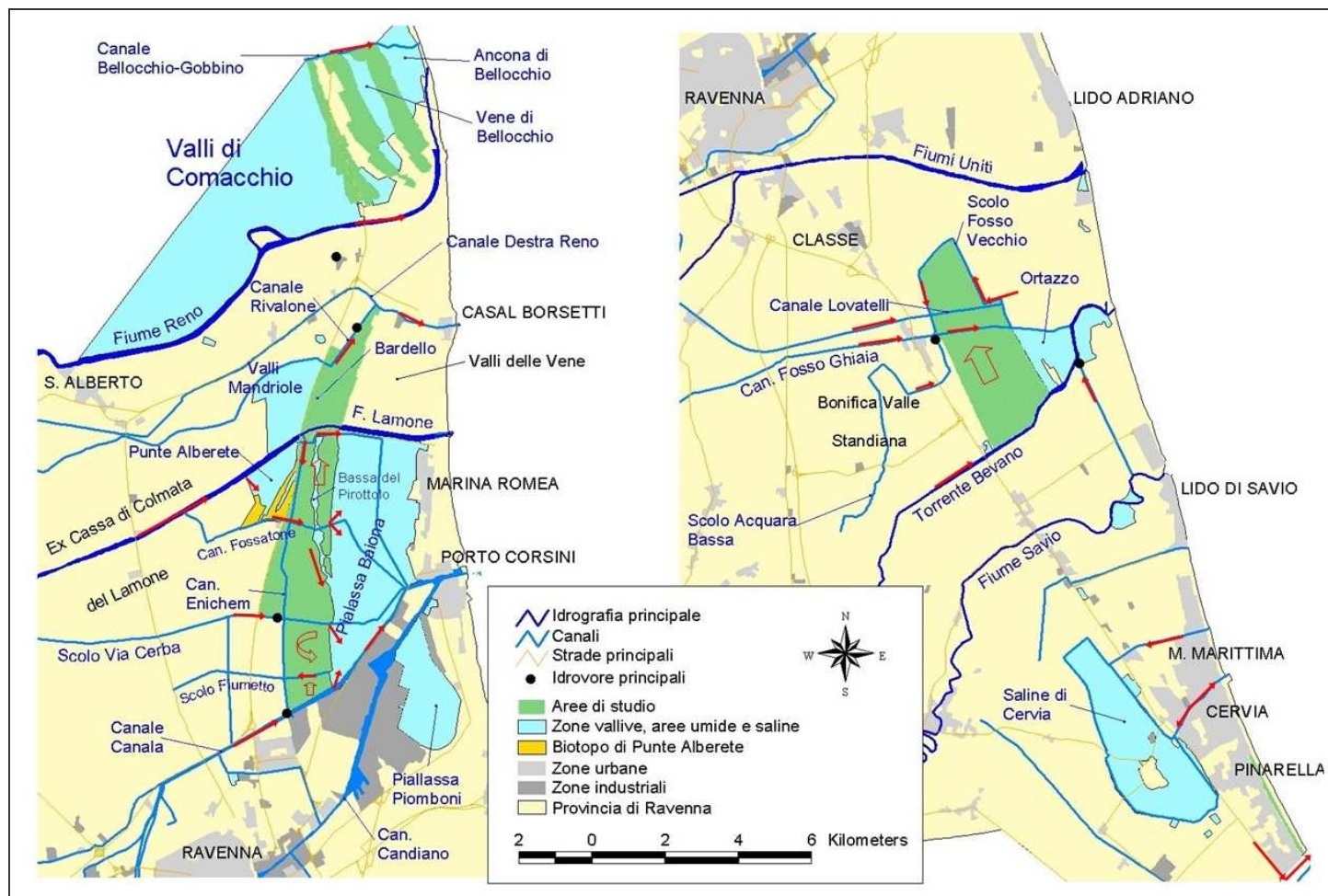


Figura 2.6. Reticolo idrografico delle aree di studio con le frecce indicanti la direzione principale dell'acqua (sulla base di: Comune di Ravenna, 1998; Pellegrini, 2005; Simeoni *et al.*, 2002 e Ulazzi *et al.* 2005).

periodi di alta marea, ed il torrente Bevano, che costituisce il confine sud della pineta. Il drenaggio delle acque superficiali è controllato da due idrovore: l'idrovora "Bevanella" e l'idrovora "Fosso Ghiaia", la prima posta sud-est della pineta e responsabile del drenaggio della zona tra il torrente Bevano ed il fiume Savio, la seconda invece ad ovest della pineta.

Quest'ultima idrovora, che risiede fra lo scolo Acquara Bassa ed il canale Fosso Ghiaia, ha il compito di drenare la parte settentrionale della pineta, l'insieme di terreni agricoli bonificati posti a nord-est rispetto alla pineta stessa (Pellegrini, 2005) e la zona di bonifica dell'ex Valle Standiana ad ovest.

La parte settentrionale della pineta, a nord del Fosso Ghiaia, grazie alla presenza di una fitta rete di canali nei terreni adiacenti che afferiscono allo scolo Fosso Vecchio, risulta meglio drenata rispetto alla porzione meridionale che non è soggetta a scolo meccanico.

2.2.5. Evoluzione recente della zona

I primi riferimenti scritti circa la presenza di pinete nel territorio ravennate si rifanno al V secolo d.C. (Conti, 1876), ma dalle datazioni effettuate sui paleocordoni dunali risulta che la linea di costa di allora era posizionata più ad ovest rispetto a dove oggi si collocano le pinete di origine più antica quali San Vitale e Classe. Come indicato da Roncuzzi e Veggi (1968) e Veggiani (1974), i dossi del V – VII secolo, localizzati in corrispondenza del Mausoleo di Teodorico (492 d. C.), si estendevano verso nord est raccordandosi con la cuspide deltizia dell'antico Po di Spina che in quel periodo raggiunse la sua massima progressione (Bondesan, 1985), all'altezza dell'odierna zona di Bellocchio (figura 2.6). In tale periodo, caratterizzato da un minimo climatico (Bondesan, 1985), si ebbero una serie di rotte che portarono all'inalveazione di due nuovi bracci del Delta del Po: il Po di Volano ed il Po di Primaro rispettivamente a nord e a sud del Po di Spina, causando l'estinzione di quest'ultimo e la rapida erosione della sua cuspide (Bondesan, 1985). Inoltre il mancato apporto di sedimenti portò per effetto della subsidenza al graduale abbassamento dell'area retrostante con la formazione di vaste zone vallive (Valli di Comacchio). Dagli apporti sedimentari del Po di Primaro e dei fiumi appenninici più a sud si viene a definire, dal X al XV secolo,

l'insieme di cordoni sui quali verranno piantumate le pinete di San Vitale e Classe. Nello stesso arco di tempo a nord del Po di Primano vengono a consolidarsi i cordoni dunali più antichi dell'area di Bellocchio, quelli ad ovest delle odierne Vene.

In tempi successivi la regressione marina fu ancora continua e le linee di spiaggia del XVII e del XVIII sono meglio definite dalle documentazioni archivistiche e topografiche (Veggiani, 1974).

L'impianto delle Pinete odierne risale al XV secolo ad opera di comunità monastiche (Scossiroli, 1974). Già nel XVI secolo il litorale era caratterizzato dalla presenza di ampie zone boschive di proprietà degli arcivescovi di Ravenna che nel 1520 venivano concesse in enfiteusi alle quattro abbazie della città: S. Vitale, Classe, S. Giovanni e S. Maria in Porto. Ebbe inizio così inizio un lungo e prospero dominio monastico delle Pinete accompagnato da un potenziamento di tutto il patrimonio boschivo (Fabbri e Missiroli, 1998).

Le Pinete storiche raggiunsero la loro massima ampiezza verso la fine del settecento quando si estendevano per 36 km ininterrottamente dal fiume Lamone sino a Cervia, coprendo una superficie allora valutata di 7417 ha (Zangheri, 1936).

Nel 1797 con l'invasione francese e la successiva soppressione delle corporazioni religiose, le abbazie persero definitivamente il controllo sulle pinete e la loro gestione passò alla Repubblica Cisalpina che, vendendole a privati, rese possibile lo sfruttamento, ma anche l'inizio degli abbattimenti. Ritornate sotto proprietà del Demanio Pontificio, nel 1836 ne fu affidata la gestione in enfiteusi alle Canoniche Lateranensi, le quali a loro volta le concedevano ad affittuari spesso per nulla interessati a garantirne la conservazione (Zangheri, 1936). Per tale cattiva gestione, nel corso del XIX secolo, si ebbero le maggiori distruzioni delle pinete. Gli abbattimenti sono perdurati per diversi motivi sino agli anni '50 con la costruzione del polo chimico industriale.

In tale contesto si colloca poi l'iniziativa del ministro Rava che nel 1905 creò le premesse legislative per l'acquisto e il rimboschimento dei terreni lungo il litorale ravennate da parte dello Stato. Nel 1933 venne impiantata la nuova pineta litoranea (Fabbri e Missiroli, 1998) e in tale periodo si colloca l'origine della Pineta di Pinarella.

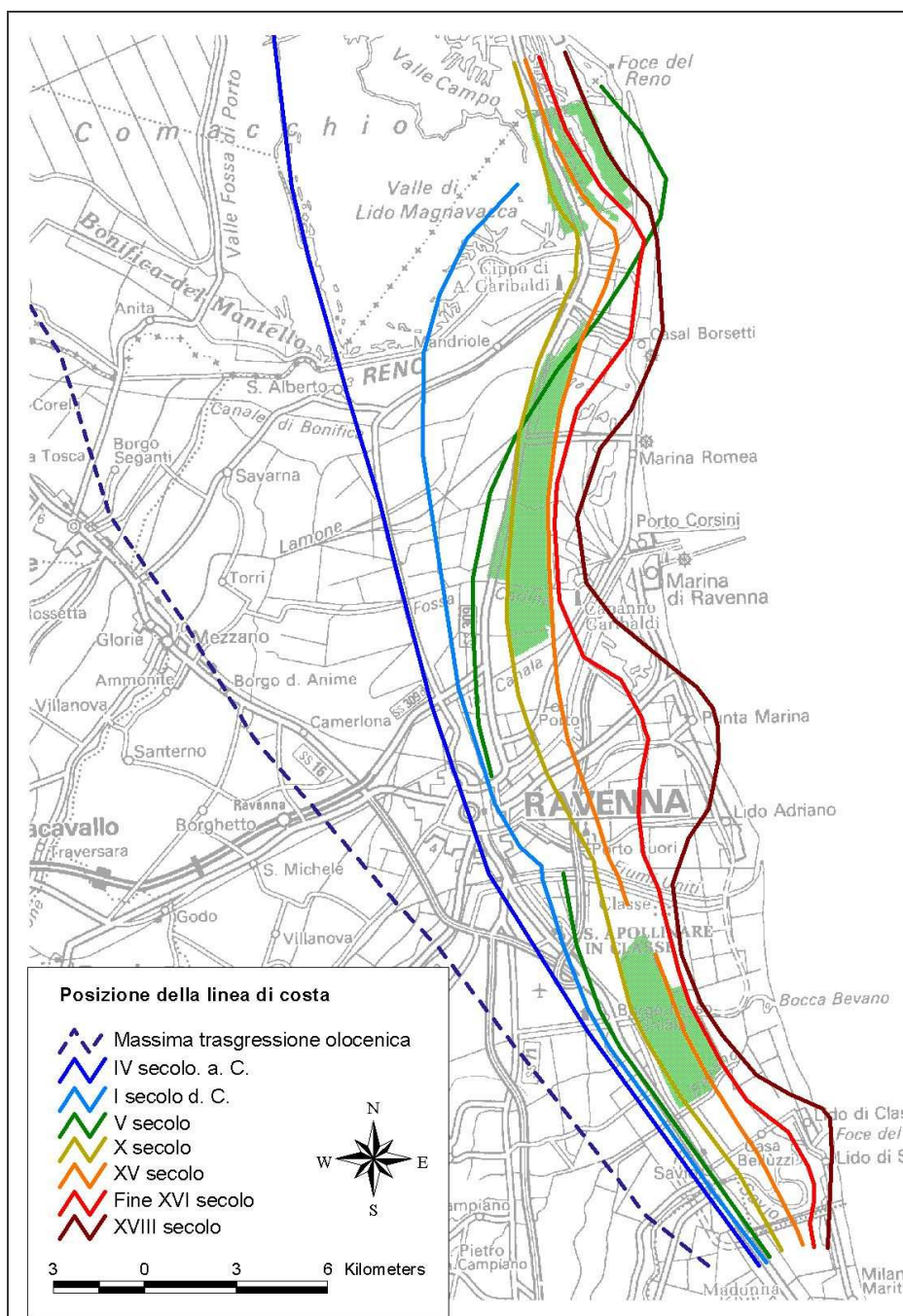


Figura 2.7. Evoluzione della linea di costa dalla massima trasgressione olocenica, sino al XVIII secolo così come ricostruibile sulla base di quanto riportato dalle diverse fonti bibliografiche: Veggiani, 1974; Bondesan, 1985; Bondesan *et al.*, 1995.

Di diversa origine sono le fasce boscate dell'area di Bellocchio. Dalla cartografia storica si osserva che nel XVIII secolo i cordoni dunali dove oggi risiedono le aree vegetate erano già completamente formati. In cartografie dell'epoca e di età napoleonica (1814) si osserva nei cordoni più antichi, la

presenza di una corposa copertura vegetazionale detto “Bosco di Primaro”. Già distinguibili sono le Vene ed il cordone dunale ad est di queste appare totalmente spoglio. Di questo bosco nella cartografia IGM del 1892 non ve ne è più traccia, inoltre sembrerebbe che la porzione sud, prossima al fiume Reno (ex Primaro), sia andata incontro ad un impaludamento e che sia stata successivamente bonificata come si evince dall’IGM del 1935. Dalle foto aeree IGM 1954-1955 si osserva un primo corpo di pineta nella zona nord prossima al Canale Bellocchio (a conferma di comunicazioni personali). Infatti le piantumazioni delle altre aree sono state fatte da tale periodo in poi.

Verso la fine dell’800 la foce del Reno, per effetto della corrente di costa, iniziò a curvare verso nord, sino a formare una lingua di terra parallela al litorale in direzione nord sud che occluse un braccio di mare, dando origine alla zona umida dell’Ancona di Bellocchio (figura 2.8). Dal 1935 (carta IGM) al processo di progradazione si è sostituita una forte erosione tuttora in atto, tale da riportare la foce del Reno a 2 km più a sud nel 1981 (Idroser, 1996).

L’evoluzione delle pinete va poi inquadrata nel contesto della profonde trasformazioni del territorio limitrofo operate dall’uomo nel corso degli ultimi secoli.

Vanno pertanto citate le opere di bonifica delle Valli Ravennati che sino al XVIII secolo si estendevano per oltre 7000 ha nelle zone basse retrostanti alla Pineta di San Vitale. Tale bonifica, iniziata nel XVI secolo, si sviluppò in modo risolutivo nel corso del ‘800 facendo spagliare il Lamone in tale bacino. Il fiume fu poi ricondotto a mare dopo il 1960, praticando un taglio attraverso la Pineta San Vitale (Nardi, 1987).

Altro elemento del territorio importante sono le Piallasse, sviluppatesi a partire dal XVII per occlusione di un braccio di mare e regimate idraulicamente sin dalla loro formazione.

Le modifiche dell’assetto idraulico legate a questi e ad altri interventi sono visibili oggi nel corso dei fiumi rettificato, nelle zone umide residue e nella fitta rete di canali scolanti che oggi attraversano le pinete.

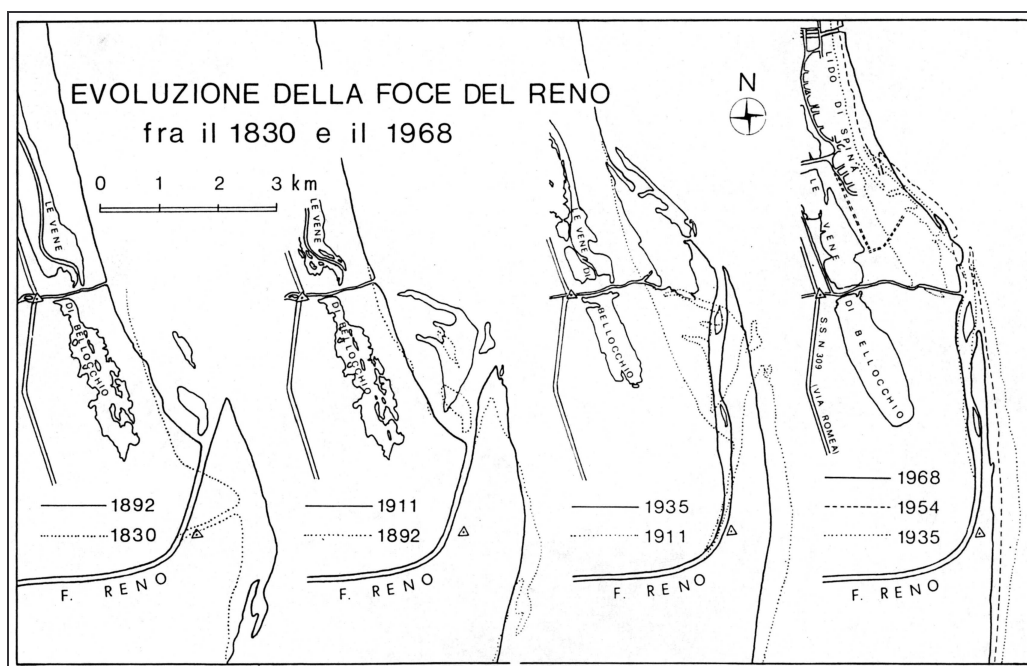


Figura 2.8. Evoluzione della foce del Reno dal 1830 al 1968 (Bondesan, 1978).

2.2.6. Subsidenza ed eustatismo

Il territorio ravennate negli ultimi quarant'anni è stato caratterizzato da vistosi e preoccupanti fenomeni di subsidenza, ovvero di abbassamento del suolo, con gravi ripercussioni sull'equilibrio ambientale.

L'abbassamento del suolo può essere di due tipi a seconda che sia imputabile a cause naturali o a cause antropiche. La prima ha un impatto sul territorio più distribuito e viene per questo definita "naturale o regionale", mentre la seconda, essendo strettamente limitata ad aree minori, viene definita "artificiale o locale".

La subsidenza naturale del ravennate può essere imputata principalmente a fattori tettonici. Il territorio si colloca in un'area di più accentuata subsidenza geologica alla quale si contrappone, nella parte più occidentale della Pianura Padana, un'area in sollevamento (Salvioni, 1957). Si è supposto (Debenedetti, 1965) che il sollevamento ad ovest sia una conseguenza della compensazione isostatica per la scomparsa delle masse glaciali würmiane e per la successiva erosione dei versanti del bacino. Gli abbassamenti verso est sarebbero invece una conseguenza dell'appesantimento e della compattazione dei sedimenti apportati verso la parte bassa del bacino per l'erosione dei versanti.

Si è stimato che la subsidenza naturale negli ultimi 2500 anni sia di circa 2-3 mm/anno (Gambolati e Teatini, 1998)

La subsidenza legata all'azione dell'uomo inizia nel ravennate con le prime arginature degli alvei fluviali dal XII secolo in poi (Fabbri, 1987). Venivano così impedito le inondazioni, ma nel contempo cessarono i nuovi apporti di sedimenti alluvionali nelle aree interfluviali. Pertanto ampie superfici comprese tra gli argini fluviali ed i cordoni dunali costieri sono andate incontro ad abbassamenti, venendo a costituire bacini di impluvio oggi sottoposti a drenaggio meccanico. Altro fattore di subsidenza può essere legato all'ossidazione di strati di torbe nei suoli bonificati.

I fattori che tuttavia a partire dagli anni '50 hanno determinato l'inequivocabile aumento dei tassi di subsidenza sono stati lo sfruttamento dei bacini metaniferi, e l'intenso emungimento di acque dal sottosuolo dettati rispettivamente dallo sviluppo del polo industriale di Ravenna e da un modello di agricoltura fortemente idroesigente.

Il massimi valori di abbassamento vennero osservati dal 1972 al 1977 soprattutto nella zona industriale di Ravenna. In tale sito tra il 1972 e il 1973 furono registrati valori pari anche a 110 mm/anno (Teatini *et al.*, 2005). Nello stesso periodo in Pineta San Vitale si avevano tassi di subsidenza crescenti da nord verso sud da 35 a 55 mm/anno, mentre in Pineta di Classe attorno a 45 mm/anno (figura 2.9). Successivamente la subsidenza è andata diminuendo, sia per graduale esaurimento del principale campo gassifero di Ravenna (Ravenna Terra) e la sostituzione dell'approvvigionamento idrico da acque sotterranee con l'adduzione di acque di superficie dal Reno e dall'acquedotto della diga di Ridracoli (Preti, 2000).

Attualmente, il fenomeno risulta essere in riduzione soprattutto nell'entroterra dove si registrano tassi di subsidenza inferiori a 3 mm/anno. Permangono tuttavia zone vicino alla costa in cui si registrano ancora valori attorno ai 10 mm/anno, corrispondenti ai pozzi di estrazione "Dosso degli Angeli" e "Angela-Angelina". Il primo si trova all'interno della zona di Bellocchio ed è entrato in funzione all'inizio degli anni '70 (Teatini *et al.*, 2005), il secondo a largo della foce dei Fiumi Uniti, ma i cui effetti si fanno sentire anche sulla costa. Riguardo alla zona di Pinarella i valori registrati nel periodo 1992-2000 sono di 4-6 mm/anno (ARPA-RER, 2003).

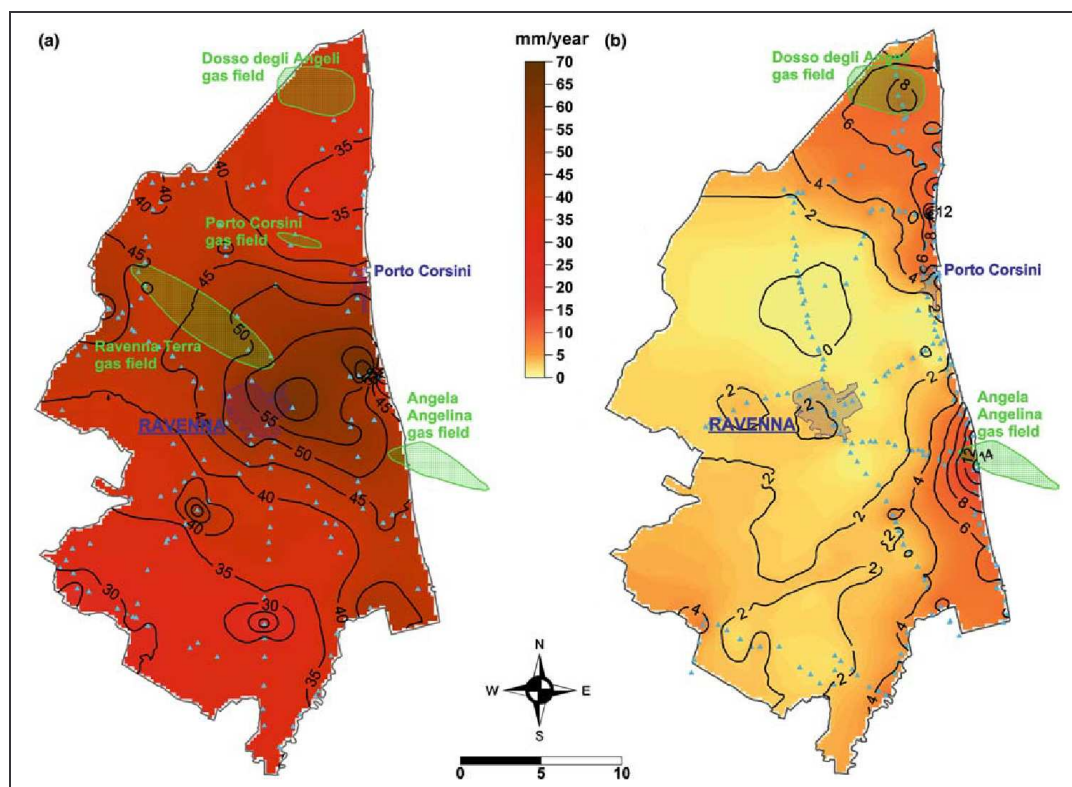


Figura 2.9. Tassi di subsidenza (mm/anno) registrati nel Comune di Ravenna nei periodi 1972-1977 e 1998-2002 (Teatini *et al.*, 2005 modificato).

All'estrazione di gas non'è tuttavia imputabile la subsidenza a tutto il territorio ravennate, mentre le correlazioni spaziali e temporali tra l'abbassamento del suolo e il cono di depressione degli acquiferi dovuto all'emungimento di acqua è già chiaramente dimostrato (Carbognin *et al.*, 1984).

La subsidenza, pertanto, ha raggiunto i valori maggiori nelle zone di maggior abbattimento piezometrico. Infatti il prelievo di acqua da uno strato più o meno superficiale del terreno provoca un abbassamento della pressione interstiziale che causa a sua volta un aumento del carico sopportato dai grani del terreno; a ciò corrisponde una deformazione elastica del terreno seguita eventualmente da una compattazione degli strati dando luogo ad una deformazione permanente (Giambastiani, 2006).

L'andamento tipico del livello piezometrico nel sistema multiaquifero ravennate in funzione del tempo è descritto da Teatini *et al.*, 2005. Si osserva infatti

come il massimo abbassamento del livello piezometrico, nella prima metà degli anni '70, sia coinciso con l'epoca di maggior prelievo dall'acquifero.

Nell'intero periodo monitorato (dal 1897 al 2002) il suolo risulta essersi abbassato di oltre un metro nella porzione centro-meridionale di Pineta San Vitale ed in prossimità del Dosso degli Angeli. Valori di abbassamento compresi tra 0,9 e 0,8 m sono invece stati osservati in Pineta di Classe (Teatini *et al.*, 2005).

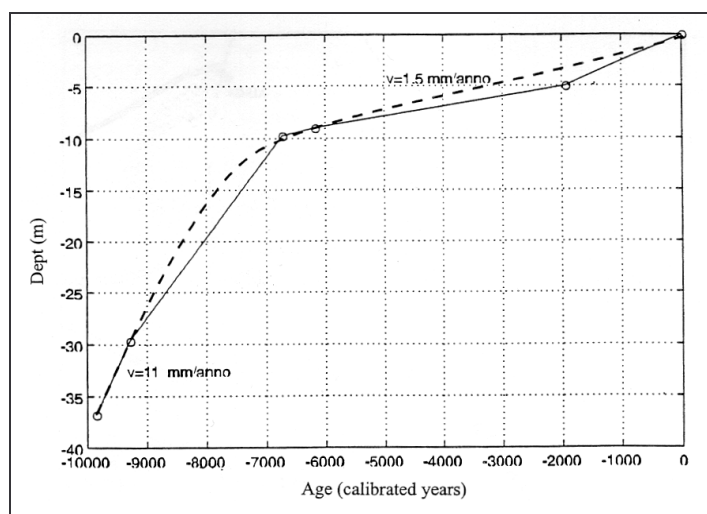


Figura 2.10. Curva dell'innalzamento del livello medio mare negli ultimi 10000 anni (Preti, 1999)

Un altro aspetto da tenere in considerazione nell'ambito della gestione delle zone costiere è l'eustatismo, ovvero il fenomeno di innalzamento del livello marino. Come già accennato, il periodo seguente la fine dell'ultima glaciazione fu caratterizzato da una veloce risalita del livello marino (Preti, 1999), sino al momento della massima ingressione olocenica (figura 2.10), in cui si ebbe un periodo di optimum climatico con temperature più alte delle attuali (Bondesan, 1985). Dopo di che la velocità andò diminuendo e la sedimentazione ebbe modo di contrastare positivamente l'ulteriore arretramento della linea di costa. All'oggi fonti autorevoli quali l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) stimano che, in virtù del surriscaldamento globale, l'innalzamento del livello marino nel Mediterraneo entro il XXI secolo sarà di circa 18-30 cm (Ferrara, 2005). Va precisato tuttavia che, in zone costiere quali le aree di studio considerate, il fattore subsidenza contribuirà verosimilmente a rendere questi valori sottostimati. Simulazioni sulla zona di Bellocchio dell'effetto combinato subsidenza e

innalzamento marino proiettate al 2020 (Simeoni *et al.*, 2002), evidenziano come buona parte della zona meridionale potrebbe andare sotto al livello del mare ed essere a rischio di inondazioni.

2.2.7. Uso del suolo

Dalla carta dell'uso del suolo della Regione Emilia-Romagna (figura 2.11), si osserva come le zone oggetto di studio siano prevalentemente circondate da suoli agricoli a seminativo o da valli e zone umide, eccezion fatta per Pinarella inserita tra la spiaggia ed il centro urbano omonimo. All'interno delle singole zone si possono invece osservare diverse coperture.

San Vitale. È costituita per la maggior parte da boschi misti di conifere e latifoglie a cui seguono i boschi prettamente di conifere specie nella parte nord, non mancano poi boschi idrofili, prati stabili (zona Bardello), zone umide salmastre e vegetazione arbustiva con alberature sparse. Adiacente alla pineta vi è poi la zona adibita a discarica e a sud la zona industriale di Ravenna.

Area Bellocchio. Presenta un mosaico molto ricco di coperture: i boschi misti ed i boschi di conifere maggiormente presenti, sono inframmezzati da porzioni a boschi planiziali, prati stabili, vegetazione arbustiva e pioppeti colturali. Non mancano zone umide e valli salmastre comprese aree adibite ad acquacoltura. Sono distinguibili il poligono militare (insediamenti di servizi pubblici) vicino alla foce del Reno ed il complesso estrattivo Dosso degli Angeli (Aree per la produzione di energia).

Classe. Vi è predominanza sia a nord che a sud di boschi di conifere, seguita da boschi misti e da boschi planiziali, presenti in minima parte coperture a vegetazione arbustiva e erbacea.

Pinarella. Vi è esclusivamente copertura di boschi di conifere.

Nell'ambito di San Vitale e Classe è stata svolta una ricerca sui principali interventi di piantumazione eseguiti dagli inizi del '900 da parte del Comune di Ravenna e dal Gruppo Territoriale Caccia ATC Ravenna 2. Dal materiale tecnico raccolto (RER - Parco Delta Po - Comune Ravenna, 1995, 1999, 2001; Comune e Provincia Ravenna – Parco Delta Po, 2004) e da comunicazioni personali (ATC Ravenna 2; Rigoni P.) si osserva come, in via generale, all'interno delle pinete gli

interventi di piantumazione antecedenti al 1990 siano stati volti al ripristino di zone disboscate a seguito degli eventi bellici (es. zona a nord del Lamone) o a piantumazioni ex novo come a nord dell'ex discarica, lungo l'argine del Pontazzo e nella parte sud-ovest di Classe (figura 2.12). Gli interventi successivi al 1990 sono prevalentemente di rinfoltimento.

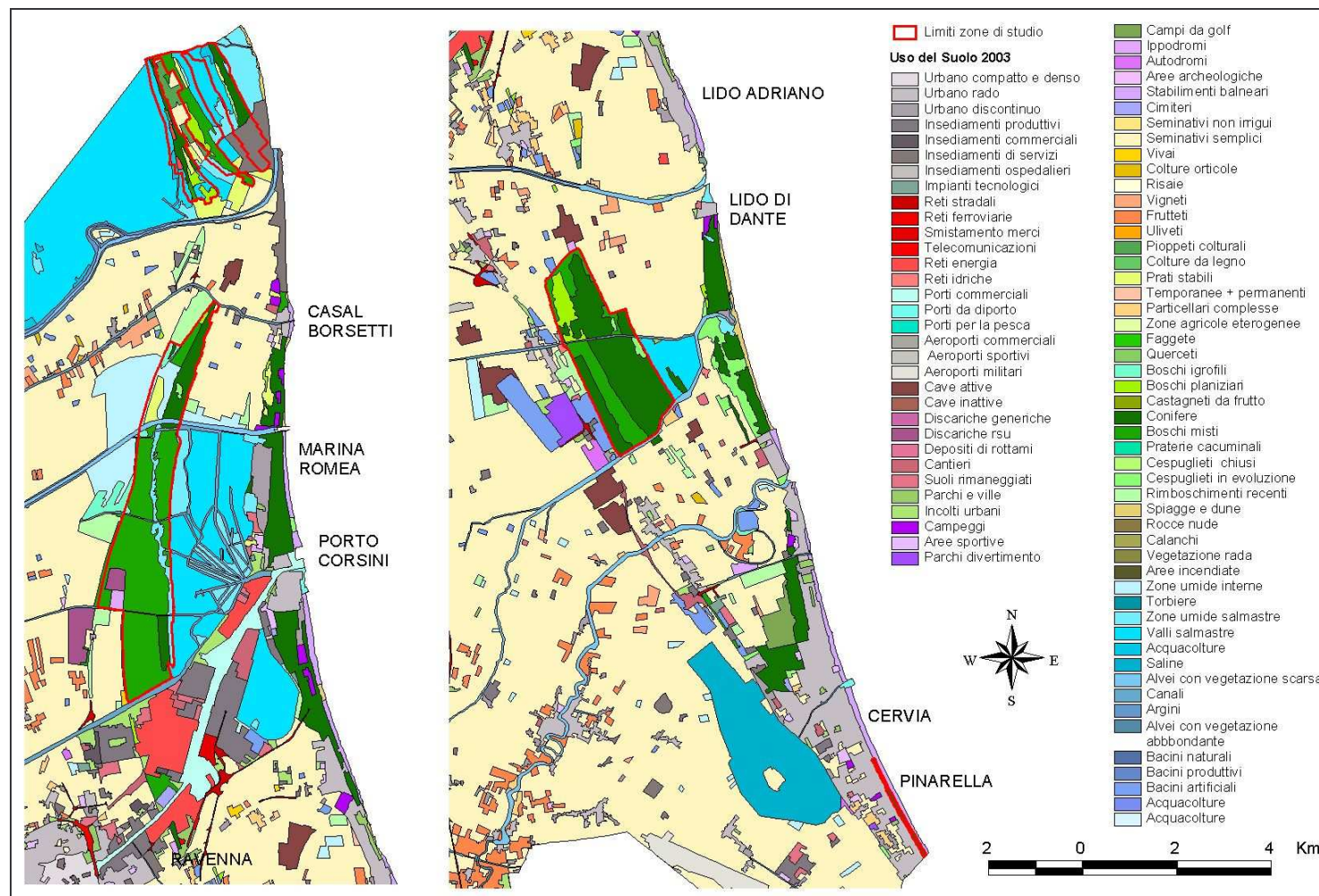


Figura 2.11. Carta dell'uso reale del suolo (RER, 2006).

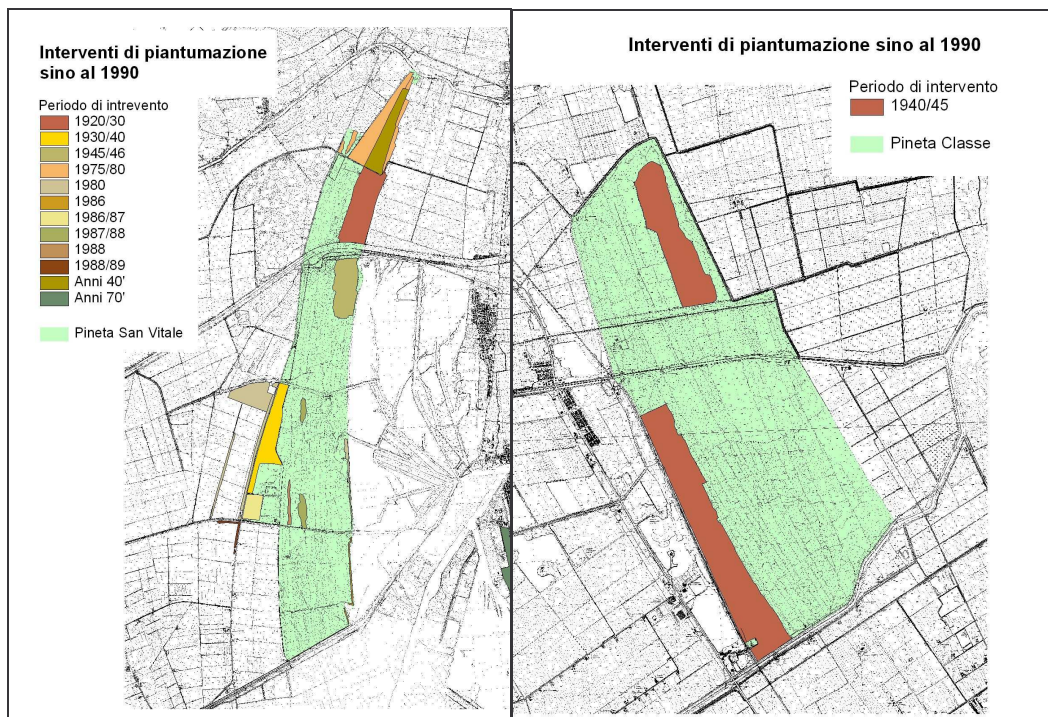


Figura 2.12. Principali interventi di piantumazione sino al 1990.

2.3. CARATTERIZZAZIONE DELLE ZONE BOSCADE LITORANEE RAVENNATI

La vegetazione presente appare come un corpo complesso, strutturato in un fitto mosaico di piccoli ecosistemi, dove le varie comunità di specie si sono evolute in situazioni ecologiche determinate dalla presenza di antichi cordoni dunali intervallati da bassure. Ambiti in cui fattori quali la presenza o meno di falda freatica, il grado di umidità e le condizioni di salinità del suolo, determinano gradienti chimico-fisici che giocano un ruolo fondamentale nella distribuzione ecologica delle specie vegetali.

La vegetazione delle pinete, i cui caratteri floristici furono per la prima volta descritti da Ginanni (1774) è, stata nel corso del tempo, sempre più oggetto di osservazione sino alla raccolta di studi coordinata da Scossiroli (1974), nella quale venne indicata la situazione di generale degrado della vegetazione delle dune. Si tratta di un fattore generale nelle regioni costiere del Mediterraneo, soprattutto per l'espansione delle strutture turistiche, con conseguente perdita di protezione rispetto agli effetti di alterazione chimica dell'aerosol nei confronti specialmente

delle conifere. A questo si era aggiunto in quegli anni l'effetto della ricaduta degli effluenti gassosi del polo industriale, il forte aumento dei tassi di subsidenza e l'intrusione del cuneo salino. Questi fattori portano tuttora a ripercussioni sull'assetto vegetazionale condizionandone gli aspetti gestionali legati al suo mantenimento.

In particolar modo appare critico il mantenimento del pino domestico (*Pinus pinea*) il quale, benché caratterizzi il paesaggio di tali ambienti, non è il risultato di un insediamento naturale. Piantumato nel ravennate presumibilmente in epoca romana, si trova oggi al limite del suo areale naturale. Necessita infatti di un clima termofilo e non tollera la presenza di acqua alle radici. L'innalzamento della falda freatica, e le mutate condizioni di umidità e temperatura del suolo che ne derivano inducono ad un "raffreddamento ecologico" che aggrava le difficoltà vegetative del pino. Anche nel passato le basse temperature invernali che caratterizzano l'Adriatico settentrionale hanno posto tale zona al margine della tollerabilità climatica per il *Pinus pinea* (Diani e Ferrari, 2005).

Lo studio della vegetazione di territori ad alta valenza naturalistica come questi è stato impostato oramai da tempo (Pirola, 1974; Piccoli *et al.*, 1991) secondo il criterio di classificazione fitosociologico indicato da Braun-Blanquet (1964), in base al quale le specie sono riunite in gruppi vegetazionali omogenei (syntaxa) a seconda del tipo di consociazione che assumono in un determinato ambiente. I syntaxa sono classificati per livelli gerarchici (associazioni, alleanze, ordini, classi) a seconda del grado di dettaglio riconoscibile.

Per la vegetazione di Pineta San Vitale, da Piccoli *et al.*, (1991), sono stati individuati sei ordini vegetazionali. Gli ordini indicati, seppur in diversa estensione sono gli stessi osservabili anche per i siti di Classe e Bellocchio.

Si riporta di seguito la descrizione dei sei ordini sulle indicazioni di Bassi (2002), evidenziando le significative differenze rispetto agli altri siti considerati.

***Quercetalia pubescenti-petraeae*.** Costituisce oltre l'80% della superficie delle Pinete San Vitale e Classe, meno estesa e più frammentata in Bellocchio. Si sviluppa nelle porzioni più rilevate e con falda profonda e rappresenta l'evoluzione verso il bosco planiziale padano. All'interno di questo ordine vegeta anche *Pinus pinea*, come elemento estraneo di impianto artificiale. Si distingue una facies xero

– termofila con dominanza di *Quercus pubescens*, *Quercus robur*, *Fraxinus ornus* e una facies mesofila, dominata da *Quercus robur*. Nella facies termofila si osserva anche il *Quercus ilex*, molto presente in Classe, ma in porzioni minimali negli altri siti. Assai ricco il livello arbustivo caratterizzato dalle specie: *Crataegus monogyna*, *Euonymus europaeus*, *Rhamnus catharticus*, *Cornus mas*, *Ligustrum vulgare*, *Juniperus communis*, *Pyracantha coccinea*, *Phillyrea angustifolia*. Tra la flora erbacea sono caratteristici: *Ruscus aculeatus*, *Viola hirta*, *Buglossoides purpureo-caerulea*, *Asparagus acutifolius*.

***Populetales albae*.** Rappresenta l'ordine vegetale caratteristico del bosco alluvionale. Tale ordine è generalmente rappresentato dalle associazioni *Alnetalia glutinosae* e *Cladio-Fraxinetum oxycarpae*. All'interno entrambi è possibile distinguere una facies più marcatamente arborea, contrassegnata da *Populus alba*, *Fraxinus oxycarpa* e *Ulmus minor* mentre nella seconda si osserva anche una facies arbustiva, caratterizzata dalla presenza di *Prunus spinosa*, *Pyrus pyraster*, che costituiscono sovente la fascia di raccordo tra il bosco igrofilo e la vegetazione erbacea delle zone umide. Le associazioni sono distribuite nelle depressioni interdunali. Più estese in Pineta San Vitale rispetto a Classe e Bellocchio, in queste ultime infatti l'associazione *Cladio-Fraxinetum oxycarpae* non è presente, poiché le specie arbustive sopracitate appartengono maggiormente ad associazioni consociate al *Pinus pinea*.

***Corynephoralia canescentis*.** L'ordine tipico delle radure xeriche, con specie erbacee terofite. L'associazione maggiormente presente è la *Bromo tectori-Phleetum arenarii*. All'interno si distinguono due facies caratterizzate dalla presenza o meno di *Pinus pinea*.

***Juncetalia maritimi*.** E' la vegetazione alofita dei giuncheti, distribuita nelle barene dei canali e sui margini delle zone umide perenni in condizioni più o meno saline. Le specie dominanti sono *Juncus acutus* e *Juncus maritimus* a cui si affiancano alofite come salicornie, sarcocornie, *Aster tripolium*, *Halimione portulacoides* e *Alisma plantago-aquatica* in condizioni meno saline.

***Phragmitetalia*.** Costituisce l'ordine caratteristico del canneto con specie dominante *Phragmites australis*. L'ambiente è tipicamente palustre di acque dolci.

Ruppietalia/Potametalia pectinati. Costituisce la vegetazione acquatica delle zone umide perenni di ambienti salmastri osservabile in Bellocchio (Vene e Valli di Comacchio) ed in San Vitale allo sbocco dei canali in Piallassa.

La Pineta di Pinarella presenta invece un corteggio floristico molto più limitato e di impianto artificiale ben più riconoscibile: buona parte della Pineta viene mantenuta come destinazione d'uso a prato parco pertanto ridotte solo le forme arbustive spontanee. Oltre al *Pinus pinea* ed al *Pinus pinaster*, compaiono perticaie di *Quercus robur* e *Fraxinus oxycarpa* specie nelle zone meno rilevate.

La RER sulla base di rilevamenti compresi tra il 1988 ed il 1994 ha pubblicato nel 1999 una cartografia della vegetazione basata sul modello fitosociologico. Nel materiale prodotto vengono indicati e cartografati i tipi di vegetazione ognuno dei quali è ricondotto ad un determinato livello sintassonomico (syntaxon). Relativamente a San Vitale (Diani e Ferrari, 2005) e Classe la carta delle vegetazione è stata recentemente aggiornata.

2.4. INQUADRAMENTO PEDOLOGICO

In base alla Carta delle Soil Region of Europe, elaborata dell'European Soil Bureau (Scala 1:5000000), le aree di studio ricadono nell'unità cartografica "18.8 – Pianura del Po e delle colline moreniche di Piemonte e Lombardia". In tale unità sono contemplati suoli sabbiosi debolmente sviluppati tipici degli ambienti litoranei come quelli indagati (ESB, 1999).

Nell'ambito della Carta dei Suoli della Regione Emilia-Romagna in scala 1:250000 (RER, 1994) le pinete di San Vitale e Classe ricadono nell'unità cartografica "1Dd" nella quale vengono indicati suoli pianeggianti con pendenza che varia tipicamente da 0,05 a 0,1%, molto profondi, a tessitura grossolana, calcarei, moderatamente alcalini, salini e localmente a scarsa o buona disponibilità di ossigeno. L'area di Bellocchio e la Pineta di Pinarella ricadono rispettivamente nelle unità "1Da" e "1Dc". I suoli presenti sono descritti molto similmente a quelli della unità 1Dd con la differenza che vengono indicati come debolmente o moderatamente alcalini e non si accenna alla salinità.

L'inquadramento pedologico di maggior dettaglio disponibile dalla RER è fornito con la Carta dei Suoli di Pianura in scala 1:50000 restituita su C.T.R. 1:25000 e consultabile dal sito GIAS della RER (www.gias.net).

Sulla base di tale cartografia le pinete di San Vitale e Classe ricadono rispettivamente nelle delineazioni n. 118 e 90, situate in ambiente di piana di sabbia costituito da depositi di duna e da depositi di cordone. L'area boscata di Bellocchio ricade nelle delineazioni n. 200 e 18, costituite entrambe da depositi di duna e cordone. Pinarella ricade infine nella delineazione n. 1260 su depositi di duna costiera.

Nell'insieme delle delineazioni considerate sono complessivamente indicati i seguenti tipi di suolo:

- **Pirottolo:** si rinvencono nelle zone di bassura; presentano generalmente un franco di coltivazione ridotto con presenza in alcuni periodi dell'anno di falda affiorante o semi-affiorante. Il pH è generalmente sub alcalino in superficie per divenire più alcalino con l'aumentare della profondità. Il contenuto di materia organica risulta notevole in superficie e tende gradualmente a diminuire passando agli orizzonti profondi. Possono presentare screziature rossastre già nei primi orizzonti per via dei meccanismi di ossidazione-riduzione del Fe indotti dall'oscillazione della falda. Negli orizzonti a contatto con la falda presentano generalmente idromorfia. A livello di classificazione sono definiti come *Calcaric Gleyic Arenosols* in base al WRB (FAO-ISRIS-ISSS, 1998) e come *Typic Psammaquents, mixed, mesic* secondo la Soil Taxonomy (SSS, 2003)
- **Cerba:** sono generalmente presenti nelle zone morfologicamente intermedie tra bassure e sommità dunali. Sono prevalentemente a tessitura sabbiosa e risentono in diversa misura dell'influsso di falda specialmente nei mesi a maggiori precipitazioni. Il pH si presenta neutro in superficie e tende a divenire alcalino con la profondità. La sostanza organica è presente limitatamente agli orizzonti superficiali. Generalmente presentano screziature rossastre tra 50 e 80 cm di profondità. Sono classificati come *Calcaric Arenosols (Gleyic)* in base al WRB e come *Aquic Ustipsamments, mixed, mesic* secondo la Soil Taxonomy.

- **San Vitale:** si osservano nelle parti più rilevate, corrispondenti alla sommità dei cordoni dunali. Sono prevalentemente a tessitura sabbiosa e perciò ben drenati. Il pH si presenta sub-acido in superficie e passa da neutro a sub alcalino con la profondità. La sostanza organica è presente in aliquote abbastanza basse anche in superficie. Generalmente non vi è presenza di falda al di sopra dei 150 cm di profondità. Sono classificati come *Calcaric Arenosols* o *Aridi Calcaric Arenosols* in base al WRB e come *Typic Ustipsamments, mixed, calcareus, mesic* secondo la Soil Taxonomy.

In figura 2.13 sono schematizzati in morfosequenza le tre tipologie di suoli sopra descritti.

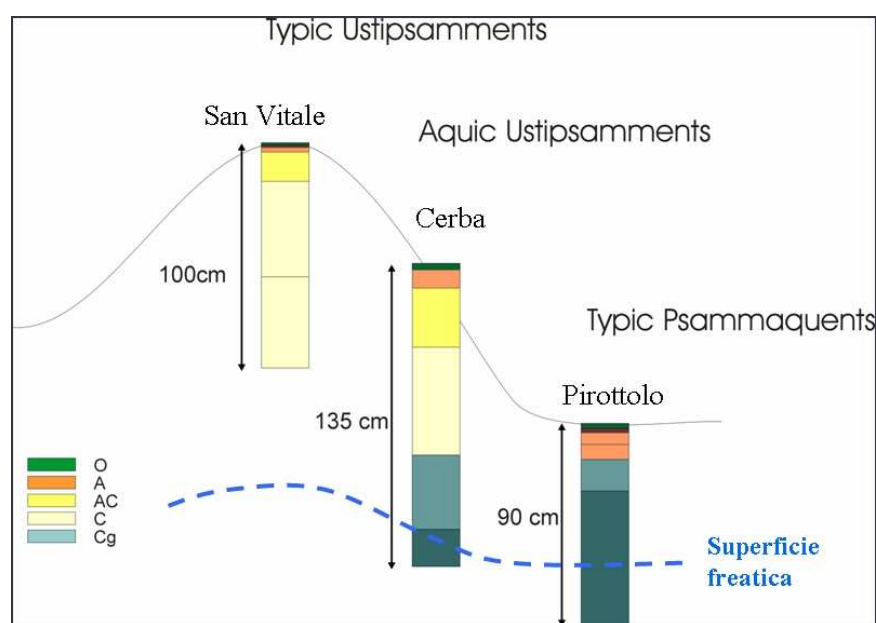


Figura 2.13. Tipologie di suoli indicate dalla Regione Emilia-Romagna nelle aree oggetto di studio.

3. METODOLOGIA DI CARATTERIZZAZIONE PEDOLOGICA

3.1 INDAGINE AMBIENTALE

La prima fase della realizzazione di uno studio podologico prevede l'“indagine ambientale”. Questa fase consiste nella ricerca delle informazioni necessarie per creare una base di conoscenze sull'area investigata e svolgerne una sintesi ragionata, al fine di poter evidenziare i fattori pedogenetici che, localmente, risultano essere più rilevanti. I principali aspetti dell'indagine ambientale adottata sono di seguito descritti.

3.1.1. Ricerca bibliografica

Consiste nella ricerca di tutto il materiale bibliografico che possa tornare utile come base di conoscenza dell'area che si intende studiare. Nel caso in oggetto le fonti bibliografiche di cui si è potuto disporre sono di diverso tipo:

- cartografia tematica, sviluppata da enti pubblici territoriali o da enti di ricerca, relativa alla distribuzione dei suoli o a livelli tematici riconducibili ai fattori della pedogenesi (carte geomorfologiche, vegetazionali, idrologiche, climatologiche, ecc.).
- Cartografia di base utile per studiare l'evoluzione del territorio legata all'uso del suolo, sviluppata dall'IGM e dalla RER o ottenuta da fonti storiche anteriori all'istituzione del sistema geodetico.
- Pubblicazioni relative ad indagini pregresse effettuate sulle aree di interesse o su parte di esse, dove siano contenute informazioni relative alla tipologia dei suoli studiati ed alla distribuzione di questi, soprattutto in rapporto alla morfologia, al livello dell'acquifero freatico ed alla vegetazione.
- Lavori non pubblicati (tesi di laurea, relazioni tecniche ecc.) che presentino informazioni analoghe.

3.1.2. Il pedoclima

Lo studio dei fattori climatici e dell'influenza che questi esercitano sulle proprietà dei suoli si è articolato su una serie di aspetti di seguito esposti.

Inquadramento generale del clima. Si è proceduto raccogliendo i dati di una serie storica almeno trentennale, sintetizzandone i parametri più significativi quali temperatura e precipitazioni medie mensili durante l'anno. Se l'area di studio non è particolarmente estesa e fattori come altitudine ed esposizione sono trascurabili, i valori termopluviometrici medi mensili relativi ad una stazione meteo possono essere rappresentativi per l'intera area. Per individuare il periodo di aridità i valori termopluviometrici mensili sono stati inseriti in un diagramma ombrotermico (Bagnouls e Gaussen, 1953).

Determinazione regime di temperature e di umidità. La determinazione di questi due parametri è finalizzata alla classificazione del suolo sulla base della Soil Taxonomy (SSS, 2006). La determinazione dei regimi di temperatura e umidità dei suoli è stata effettuata mediante l'utilizzo del software "Newhall Simulation Model" (Van Wambeke *et al.*, 1986). Questo programma permette di calcolare il quantitativo di acqua disponibile per le piante (trattenuta ad una tensione < 1500 kPa) durante l'anno all'interno di una sezione di controllo del suolo, così come definita dal Soil Survey Staf (2006). Dagli andamenti di acqua disponibile nella sezione di controllo viene definito il regime di umidità, mentre in relazione alla temperatura, si definisce il regime termico.

Il Newhall stima il fronte di inumidimento mediante un modello semplificato che prevede la suddivisione del suolo in comparti e movimenti dell'acqua istantanei dall'alto verso il basso legati solo al superamento della capacità di campo. Non sono quindi considerati i movimenti dell'acqua su base fisica legati al gradiente di potenziale e condizionati dalla tipologia del suolo (Bonfante, 2007).

Pertanto il suo utilizzo risulta appropriato solo in suoli dove i movimenti laterali dell'acqua o per risalita capillare dalla falda siano trascurabili.

Bilancio idrico dei suoli. Per la valutazione del bilancio idrico dei suoli ci si avvale solitamente di modelli basati sul bilancio energetico guidato dall'energia solare. Questi vengono usati soprattutto per la stima dell'evapotraspirazione

dell'acqua che dipende da fattori meteorologici, dalla composizione del suolo e dal tipo di vegetazione presente. A parità di condizioni, l'evapotraspirazione aumenta all'aumentare della disponibilità idrica sino ad un punto massimo detto evapotraspirazione potenziale (PET). Solamente in condizioni di surplus idrico l'evapotraspirazione effettiva (AET) è uguale alla PET.

Il modello che si è utilizzato è "WATBAL" (Starr, 1999), basato sui calcoli tradizionali del bilancio idrologico proposti da Thornthwaite e Mather (1957). WATBAL considera la somma mensile delle precipitazioni, l'evapotraspirazione, il ruscellamento ed i cambiamenti nella capacità d'immagazzinamento del suolo secondo la relazione:

$$P = ET + R + \Delta SM$$

dove:

P	= precipitazioni (mm)
ET	= evapotraspirazione (mm)
R	= ruscellamento (mm)
ΔSM	= variazioni dell'umidità del suolo (mm)

I parametri P e ET sono strettamente correlati; quando l'evapotraspirazione è maggiore delle precipitazioni, l'acqua immagazzinata nel suolo viene utilizzata dalle piante per l'evapotraspirazione a discapito dell'acquifero.

Il parametro ET dipende dal tipo di vegetazione: una vegetazione di manto erboso ha un valore di evapotraspirazione potenziale (PET) minore rispetto a quello di una vegetazione costituita da piante ad alto fusto come per esempio una pineta. Ogni coltura ha un valore diverso di PET in base alle proprie esigenze idriche. Nel modello WATBAL queste differenze sono espresse mediante un parametro "alpha", simile al parametro Kc (crop evapotranspiration coefficient) usato invece da altri programmi quali Bilidr-III, messo a punto dalla Regione Emilia Romagna. L'evapotraspirazione dipende poi dalla radiazione solare.

I parametri da fornire in input a WATBAL sono: la posizione del sito, i dati termopluviometrici mensili, la capacità di acqua disponibile del suolo (AWC) e la percentuale di nuvolosità media mensile. Mentre in output vengono restituiti la radiazione globale, la PET, l'AET e il contenuto di umidità del suolo (SM).

Il valore massimo del contenuto di umidità corrisponde all'AWC.

Il calcolo dell'AWC si ottiene mediante l'impiego del programma "Soil water characteristics" (Saxton, 2003), che tiene conto di alcune caratteristiche chimico fisiche del suolo quali tessitura, materia organica, salinità, scheletro, grado di compattazione e di umidità.

Lo spessore entro cui si considera l'acqua disponibile corrisponde alla profondità interessata mediamente dalle radici. Considerando lo sviluppo delle radici delle specie boschive di tali ambienti (Padula, 1968) ed i lavori precedentemente svolti (Mollema *et al.*, 2005; Giambastiani, 2006) si è adottato uno spessore di 1 m.

WATBAL permette anche di stimare la quantità dell'infiltrazione nel sottosuolo che nel nostro caso equivale alla principale fonte di ricarica dell'acquifero. Per tale parametro è stato considerato il surplus idrico, ovvero la quantità d'acqua di origine meteorica non utilizzata dalle piante.

Dall'elaborazione del bilancio idrico si può infine ottenere la classificazione climatica secondo Thornthwaite e Mather (1957).

3.1.3. Raccolta dei livelli informativi

Le diverse fonti cartografiche sono acquisite su supporto digitale in buona parte già georeferenziato e comunque trattabile mediante i GIS. Per le nozioni relative alla definizione di GIS (Geographical Information System) e al sistema di trattamento dei dati alfanumerici spazialmente riferiti alla superficie terrestre, si rimanda ad Arnaud *et al.* (1993) e Cortellessa (1995).

I livelli informativi complessivamente utilizzati per l'indagine ambientale sono i seguenti:

- punti quotati.
- DEM (Digital Elevation Model) delle quote altimetriche.
- DEM dei livelli piezometrici dell'acquifero freatico.
- DEM delle isocinetiche.
- Carte della vegetazione.
- Carta geologica in scala 1:50000.

- Immagini telerilevate da satellite Quick Bird 2003.
- Carta Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:10000.
- Ortofoto storiche (volo 1954-55).
- Cartografia storica.

3.1.4. Analisi dei livelli informativi e Carta delle Unità di Paesaggio

L'analisi dei livelli informativi in ambiente GIS è stata svolta mediante utilizzo del software ArcView GIS 3.2a della ESRI (ESRI, 1996) completo delle estensioni Spatial Analyst e 3D Analyst, per lo sviluppo, l'analisi e la sovrapposizione di modelli di elevazione digitali.

I livelli informativi raccolti sono stati uniformizzati a livello di coordinate chilometriche in modo tale da renderli sovrapponibili.

Dalla ricerca bibliografica sono stati individuati, come principali fattori determinanti la pedogenesi di tali ambienti, la morfologia e la profondità di falda. Questi caratteri si trovano poi in stretta relazione con la vegetazione.

Pertanto, in sede di analisi dei livelli informativi, si è proceduto in primis all'ottenimento di un livello tematico che potesse descrivere la profondità dell'acquifero dal piano di campagna. Nel contempo i tipi vegetazionali relativi ai vari syntaxa della carta della vegetazione, con l'aiuto delle apposite legende di descrizione, sono stati riclassificati facendo corrispondere ad ogni tipo vegetazionale il suolo potenzialmente riconducibile alla presenza di ognuno di questi.

Le fasce di profondità di falda e la carta della vegetazione riclassificata sono state poi intersecate mediante overlay ed il livello informativo risultante è stato confrontato con gli altri livelli informativi disponibili, ognuno dei quali può essere utile per fornire informazioni riconducibili alla possibile presenza di un certo tipo di suolo o perlomeno di un particolare fattore ambientale.

Lo schema generale che si è seguito per l'overlay topologico dei principali livelli informativi viene schematizzato in figura 3.1.

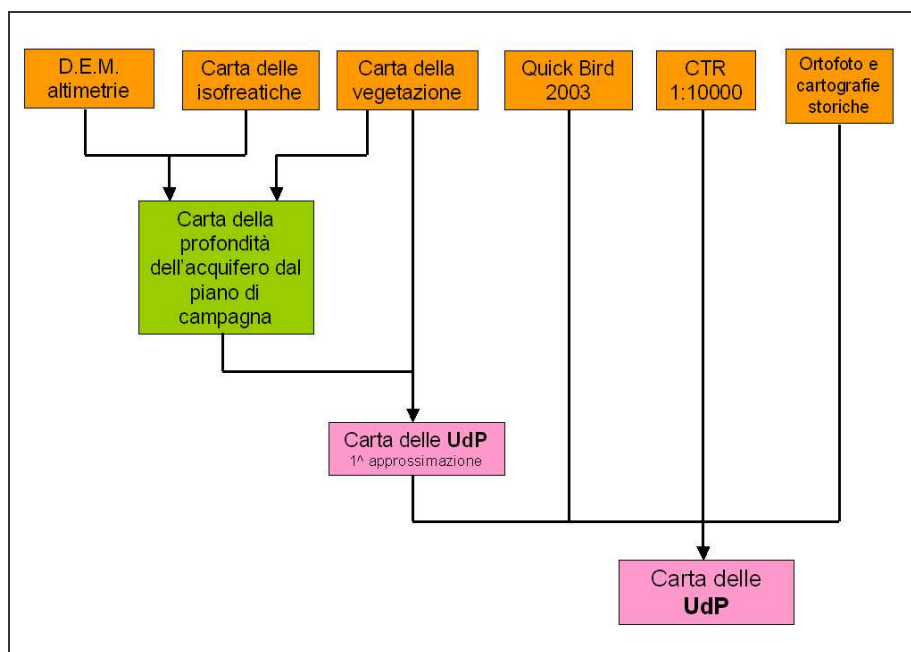


Figura 3.1. Schema generale dell'overlay topologico seguito per la realizzazione della Carta delle Unità di Paesaggio.

L'analisi progressiva dei diversi livelli informativi ha portato a definire, seppur in prima approssimazione, le “Unità di Paesaggio” (U.d.P.), ovvero degli ambiti territoriali caratterizzati da una sintesi di fattori ambientali correlati tra loro in maniera distintiva e significativa. All'interno delle U.d.P. si ipotizza pertanto che i fattori della pedogenesi vengano ad insistere in modo omogeneo lasciando presupporre la presenza di un particolare pedotipo. La Carta delle Unità di Paesaggio, se da un lato rappresenta la sintesi dell'indagine ambientale, dall'altro costituisce uno strumento finalizzato ad agevolare e rendere più mirata la successiva indagine in campo. La delimitazione di tali ambiti omogenei ha fornito una maglia ragionata all'interno della quale è stato possibile effettuare un'opportuna scelta dell'ubicazione dei punti più idonei ai fini del rilevamento in campo.

3.2. INDAGINE PEDOLOGICA

L'indagine pedologica ha permesso di passare da un'indagine esclusivamente di ricerca bibliografica e di elaborazione di livelli tematici sulla base di conoscenze pregresse, all'analisi diretta su campo. L'obiettivo principale dell'indagine pedologica è stato quello di verificare in campo l'effettiva presenza e distribuzione

spaziale dei pedotipi, all'interno degli ambiti omogenei individuati con la Carta delle U.d.P.

L'indagine in campo si è articolata in una prima fase di rilevamento speditivo, seguita da una seconda fase con apertura di profili rappresentativi delle tipologie di suoli individuati.

La fase di rilievo speditivo consiste nell'individuazione di transetti, ovvero sezioni immaginarie costituite da allineamenti di punti, nei quali si procederà, mediante sistematiche battute di trivellate in campo, alla verifica delle caratteristiche ambientali e del suolo presente. Tale operazione viene solitamente detta di "transecting" (Soil Survey Division Staff, 1993) ed è finalizzata sia a fornire una conoscenza più esaustiva della situazione ambientale caratterizzante il territorio sia ad una migliore definizione dei confini delle U.d.P. Le zone per le quali l'overlay topologico ha evidenziato dati incerti o contraddittori o la presenza di una significativa variabilità verranno coperte da un maggior numero di punti di osservazione.

Va sottolineato che sin dalla prima indagine speditiva, il rilevamento pedologico permette, sulla base delle osservazioni in campo, di creare o migliorare e rendere univoche le chiavi di interpretazione dei dati presenti nei livelli informativi a disposizione. È opportuno quindi che venga accompagnato da tutte le osservazioni ambientali riconducibili agli ambiti pedogenetici presenti nell'area di studio, contemplando anche la possibile presenza di pedotipi non menzionati nei dati bibliografici pregressi. Di fondamentale importanza rivestono in queste zone le osservazioni morfovegetazionali e l'individuazione delle relazioni esistenti con la tipologia del suolo.

Di tutti i punti di rilievo effettuati è stata presa posizione mediante GPS con sistema di riferimento UTM WGS84.

3.2.1. Apertura profili pedologici, descrizione e campionamento.

Le osservazioni, evinte dalle carote dei rilevamenti speditivi, hanno permesso di localizzare all'interno di ciascuna U.d.P, uno o più siti idonei per lo studio del profilo modale caratteristico del determinato tipo di suolo rinvenuto in quel dato ambito omogeneo. Pertanto, nei punti che sulla base della campagna di trivellate

condotta, sono risultati essere i più significativi della situazione ambientale, si è proceduto all'apertura di trincee di circa 50 cm di lato e profonde possibilmente sino alla falda freatica o comunque almeno un metro.

La profondità del profilo è stata misurata ponendo una cordella metrica con lo zero corrispondente al limite tra gli orizzonti organici ed il primo orizzonte minerale. Il profilo è stato poi fotografato e con esso il paesaggio attorno alla stazione di rilievo.

La descrizione e il campionamento dei suoli è stata realizzata seguendo quanto indicato da Schoeneberger *et al.* (2002). Le informazioni rilevate sono state annotate su un'apposita scheda pedologica che consiste essenzialmente di due parti.

Nella prima vengono riportati i riferimenti ed i caratteri della stazione, nella seconda la descrizione dei diversi orizzonti del profilo.

Le voci presenti in ciascuna parte della scheda sono di seguito elencate:

Riferimenti e caratteri della stazione (parte 1^):

- Denominazione profilo.
- Località.
- Coordinate (chilometriche, sistema UTM).
- Quota (m.s.l.m.m).
- Inclinazione versante (gradi rispetto all'orizzonte).
- Esposizione versante (gradi rispetto al nord).
- Fisiografia e morfologia.
- Rocciosità.
- Pietrosità.
- Vegetazione.

Caratteristiche da osservare nei diversi orizzonti (parte 2^):

- Profondità.
- Umidità.
- Colore: è correlato a presenza di sostanza organica, aerazione, porosità e natura dei materiali presenti; per la sua determinazione oggettiva si fa riferimento alle "Munsell soil colour charts" (Munsell, 2000).

- Screziature: sono indicatrici di situazioni di ristagno idrico e di condizioni riducenti, caratterizzate in base a: colore, abbondanza, dimensione e contrasto rispetto alla matrice.
- Tessitura: stimata manualmente.
- Scheletro: stimato a vista.
- Struttura: stimata a vista (grado di sviluppo, forma, dimensione)
- Radici: stimate a vista (densità, quantità, orientamento, tipo).
- Pellicole: indicano fenomeni di movimento di materiali fra gli aggregati.
- Concrezioni: generalmente composte da carbonati, gesso, idrossidi di Fe o Mn.
- Pori: in relazione a tessitura, struttura ed attività biologica.
- Effervescenza: mediante impiego di HCl per la stima di carbonati.
- pH: mediante indicatore colorimetrico universale.
- Limite (tra gli orizzonti).

L'operazione successiva alla descrizione della stazione e del profilo è stata rappresentata dal prelievo di campioni di suolo, provenienti da ciascuno degli orizzonti costituenti il profilo. Il campione prelevato deve essere rappresentativo dell'orizzonte, in dovuta quantità (almeno 600 g) e non contaminato da materiale estraneo.

I campioni prelevati sono stati messi in appositi sacchetti di plastica con sopra contrassegnati: località di prelievo, data, nome del profilo e profondità dell'orizzonte. Il profilo ed il paesaggio attorno alla stazione di rilievo sono stati fotografati ed allegati alla scheda di descrizione pedologica (Allegato 1).

3.2.2. Materiali e metodi delle analisi di laboratorio

I campioni di suolo una volta portati in laboratorio sono stati seccati all'aria e setacciati con setaccio ASTM a maglia da 2 mm di diametro per ottenere la cosiddetta "terra fine". Sulla terra fine si sono poi eseguite le analisi chimico-fisiche come riportato in tabella 3.1.

Allo stesso modo i campioni di acque di falda sono stati filtrati con filtri Whatman® 42 e sottoposti alle analisi indicate in tabella 3.1.

Riguardo alle metodiche utilizzate per le analisi chimico-fisiche sui suoli, salvo altra indicazione, si è fatto riferimento ai “Metodi di Analisi Chimica del Suolo” riportati dal manuale del MiPAF, 2000 sulla base del Supplemento Ordinario della Gazzetta Ufficiale n. 248 del 21-10-1999. Per le metodiche di analisi sulle acque si è invece fatto riferimento ai manuali dei “Metodi analitici per le acque” APAT, IRSA-CNR, 2003.

Tabella 3.1. Analisi chimico fisiche svolte su suoli ed acque per la caratterizzazione pedologica.

Analisi suoli e parametri derivati	Metodica: Suppl. Ord. G.U. n. 248/1999 - Standard internazionale	Strumentazione principale
Tessitura	Metodo n. II.6	Setacci ASTM, cilindri ASTM CI 271, idrometro ASTM 152 H
Grado di reazione (pH)	Metodo n. III.1 - ISO 10390	pH-metro
Conduttività elettrica (CE)	Metodo n. IV.1 - ISO 11265 (1)	Conduttimetro
Calcare totale	Metodo n. V.1 - ISO 10693	Calcimetro Dietrich-Fruehling
Calcio carbonato attivo (calcare attivo) (2)	Metodo n. V.2	Reagenti e vetreria da laboratorio
Carbonio organico (C org.)	Metodo n. VII.3	Reagenti e vetreria da laboratorio
Azoto totale (N tot.) (3)	Metodi n. XIV.2 e n. XIV.3 - ISO 11261	Digestore e distillatore Kjeldahl in corrente di vapore VELP® UDK 126 A
Rapporto C/N (3)		
Capacità di Scambio Cationico (CSC) (2)	Metodo n. XIII.2 - 11260	Reagenti e vetreria da laboratorio
Analisi acque di falda e di superficie	Metodica: Manuali e linee guida 29/2003	Strumentazione principale
Grado di reazione (pH)	Metodo 2060	pH-metro
Conduttività elettrica (CE)	Metodo 2030	Conduttimetro
Cloruri (3)	Metodo 4090 A1	Reagenti e vetreria da laboratorio

1 : con rapporto suolo acqua 1:2.5 (CE 1:2.5) o in pasta satura (CE ps)

2 : analizzato solamente per Pineta di Pinarella di Cervia

3 : analizzato solamente per Pineta San Vitale

Dalle analisi delle acque si cercato di definirne lo stato ambientale come indicato per i corpi idrici sotterranei nel punto 4, Allegato 1 del Dlgs n. 152/99. Lo

stato ambientale viene ricavato dalla definizione dello stato quantitativo e dello stato chimico delle acque. Questi due indici sono entrambi suddivisi in classi di qualità che opportunamente incrociate a livello tabellare (tabella 22, Allegato 1, Dlgs 152/99) indicano lo stato ambientale quali-quantitativo.

Nel nostro caso lo stato chimico è stato individuato sulla base dei valori di CE e cloruri, mentre lo stato quantitativo è stato assunto come appartenente alla classe C, come richiesto dal Dlgs, nel caso non si abbia modo di definirlo.

La CE è stata solitamente determinata in rapporto suolo acqua 1:2.5 o in pasta satura. Per estrapolare la CE in pasta satura ci si è serviti di un modello di regressione lineare elaborato da Monteleone et al. (2003). Il modello è stato testato su 39 campioni e la correlazione tra i valori di CE ps reali e quelli calcolati restituisce un coefficiente di determinazione $R^2 = 0.9410$. Dalla figura 3.2 si osserva che il modello restituisce una buona stima per i valori medi e alti, ma sovrastima i valori bassi.

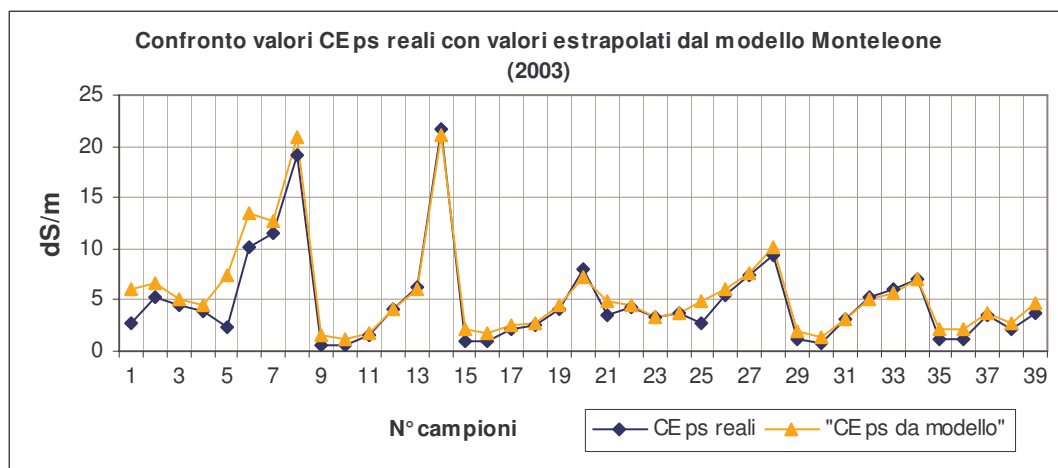


Figura 3.2. Confronto tra i valori di CE ps reali con quelli estrapolati da CE 1:2.5, mediante il modello di Monteleone et al. (2003).

Nelle tabelle 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5, sono descritte le modalità di espressione dei risultati analitici in base alle indicazioni del MiPAF (2000), ed i riferimenti bibliografici utilizzati per la valutazione qualitativa dei parametri chimico – fisici dei suoli. In sede di discussione dei dati, salvo specifica indicazione, le valutazioni

qualitative dei risultati faranno sempre riferimento alla bibliografia indicata nelle tabelle sopraccitate.

L'insieme delle osservazioni pedologiche svolte in campo al momento dell'apertura del profilo, confrontate con i dati ottenuti dall'analisi dei parametri chimico-fisici sui campioni, hanno permesso di classificare i suoli a livello tassonomico sulla base delle chiavi interpretative fornite dai manuali del Soil Survey Staff (SSS, 2006) per la Soil Taxonomy e del World Reference Base (IUSS, 2006) per la FAO.

Tabella 3.2. Modalità di espressione dei risultati dei parametri chimico – fisici sui suoli e riferimenti bibliografici utilizzati per la loro valutazione qualitativa.

Parametro	Sabbia 2 - 0.05 mm	Limo 0.05 - 0.002 mm	Argilla < 0.002 mm	Tessitura	Reaz. in H ₂ O	Reaz. in H ₂ O valutazione	Calcare tot.	Calcare tot. valutazione	Calcare attivo	Calcare attivo valutazione
Unità di misura	g · kg ⁻¹	g · kg ⁻¹	g · kg ⁻¹	USDA	pH		g · kg ⁻¹		g · kg ⁻¹	% su calcare tot.
Cifre decimali secondo MiPAF, 2000	Nessuna	Nessuna	Nessuna	Totale = 1000	1 cifra decimale		senza cifre decimali		senza cifre decimali	
Riferimento	MiPAF, 2000				RER, 1994		MiPAF, 2006		MiPAF, 2006	
Giudizio del riferimento	Triangolo tessiturale USDA (SSS, 2006)				< 4.5	Estremamente acido	< 5	Non calcareo	< 5	Basso
					4.5 – 5.0	Molto fortemente acido	5 – 10	Scarsamente calcareo	5 - 10	Medio e alto
					5.1 – 6.0	Moderatamente acido	11 – 50	Debolmente calcareo	> 10	Molto alto
					6.1 – 6.5	Debolmente acido	51 – 100	Moderatamente calcareo		
					6.6 – 7.3	Neutro	101 – 200	Molto calcareo		
					7.4 – 7.8	Debolmente alcalino	201 – 400	Fortemente calcareo		
					7.9 – 8.4	Moderatamente alcalino	> 400	Estremamente calcareo		
					8.5 – 9.0	Fortemente alcalino				
					> 9.0	Molto fortemente alcalino				

Tabella 3.3. Modalità di espressione dei risultati dei parametri chimico – fisici sui suoli e riferimenti bibliografici utilizzati per la loro valutazione qualitativa.

Parametro	C. organico		Sostanza organica		Sortanza organica e C. org. valutazione	N totale		N totale valutazione		C/N		C/N valutazione		P ass.		P ass. valutazione	
Unità di misura	%		g · kg ⁻¹			g · kg ⁻¹								mg · kg ⁻¹			
Cifre decimali secondo MiPAF, 2000	1 cifra decimale		Non c'è indicazione sui decimali (1)			1 cifra decimale				Nessuna indicazione				Senza cifre decimali			
Riferimento	MiPAF, 2006					Giardini, 1986			Barbiroli et al., 2000			Sbaraglia e Lucci, 1994					
Giudizio del riferimento	< 0.45	< 4.5	< 0.78	< 7.8	Molto scarso	< 1.0	Povero		<= 10	Barbiroli et al., 2000	0 - 6		Molto basso				
	0.45 – 0.90	4.5 – 9.0	0.78 – 1.55	7.8 – 15.5	Scarso	1.0 – 1.5	Mediamente dotato		10 - 14		7 - 12		Basso				
	0.91 – 1.36	9.1 – 13.6	1.56 – 2.34	15.6 – 23.4	Medio	1.5 – 2.2	Ben dotato		14 - 20		13 - 20		Medio				
	1.37 – 1.81	13.7 – 18.1	2.35 – 3.12	23.5 – 31.2	Elevato	2.3 – 5.0	Ricco		> 20		20 - 30		Alto				
	> 1.81	> 18.1	> 3.12	> 31.2	Molto elevato	> 5.0	Eccessivamente dotato				> 30		Molto alto				

Tabella 3.4. Modalità di espressione dei risultati dei parametri chimico – fisici sui suoli e riferimenti bibliografici utilizzati per la loro valutazione qualitativa.

Parametro	Ca, Mg, K, Na scambiabili	CSC	CSC valutazione	GSB	GSB valutazione	ESP	ESP valutazione	CE 1:2.5	CE 1:2.5 valutazione	CE ps	CE ps valutazione e condizione suoli
Unità di misura	$\text{cmol}_{(+)} \cdot \text{kg}^{-1}$ $\text{meq} \cdot 100\text{g}^{-1}$	$\text{cmol}_{(+)} \cdot \text{kg}^{-1}$ $\text{meq} \cdot 100\text{g}^{-1}$		%		%		$\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$		$\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$	
Cifre decimali secondo MiPAF, 2000	1 cifra decimale	1 cifra decimale						Nessuna indicazione (1 o 2 decimali)		Nessuna indicazione (1 o 2 decimali)	
Riferimento		Sbaraglia e Lucci, 1994		MiPAF, 2006		MiPAF, 2006		Sbaraglia e Lucci, 1994		Barbiroli et. al., 2000; RER, 1994; Sbaraglia e Lucci, 1994	
Giudizio del riferimento		< 5	Molto bassa	< 35	Molto bassa	< 5.0	Normale	0 - 0.5	Normale	0 - 2	Normale, suoli non salini
		5 - 10	Bassa	35 - 50	Bassa	5.1 - 10.0	Leggermente alto	0.6 - 1.0	Leggermente alta	2 - 4	Leggermente alta, suoli debolmente salini
		10 – 20	Media	51 - 60	Media	10.1 - 15.0	Alto	1.1 - 2.0	Alta	4 - 8	Alta, suoli molto salini
		20 - 40	Alta	61 - 75	Alta	> 15.1	Molto alto	2.1 - 4.0	Molto alta	8 - 16	Molto alta, suoli fortemente salini
		> 40	Molto alta	> 75	Molto alta			> 4.0	Estremamente alta	> 16	Estremamente alta, suoli molto fortemente salini

Tabella 3.5. Modalità di espressione dei risultati dei parametri chimico – fisici sui suoli e riferimenti bibliografici utilizzati per la loro valutazione qualitativa.

Parametro	Ca, Mg, K, Na solubili	SAR SAR valutazione		B solubile B solubile valutazione		Cloruri	Metalli pesanti
Unità di misura	mmol ₍₊₎ · kg ⁻¹	Nessuna indicazione (1 decimale)		mg · kg ⁻¹ 2 cifre decimali		mmol ₍₋₎ · kg ⁻¹	mg · kg ⁻¹
Cifre decimali secondo MiPAF, 2000	1 cifra decimale					1 cifra decimale	2 decimali se valore <2. 1 decimale se valore tra 2 e 20. Nessun decimale se valore >20.
Riferimento		MiPAF, 2001		Sbaraglia e Lucci, 1994			
Giudizio del riferimento		< 10	Basso	< 0.3	Molto basso		
		10 - 18	Medio	0.3 - 0.6	Basso		
		18 - 26	Alto	0.7 - 1.2	Medio		
		> 26	Molto alto	1.3 - 2.5	Alto		
				2.6 - 5.0	Molto alto		
				> 5.0	Eccessivo		

3.2.3. Realizzazione Carta dei Suoli

La conferma delle tipologie di suolo osservate dall'indagine in campo all'interno degli ambiti omogenei hanno permesso di regionalizzare il dato del rilievo pedologico puntuale a tutta l'Unità di Paesaggio. Le U.d.P. sono state quindi ricondotte a pedotipi veri e propri i quali, a loro volta, sono stati sintetizzati in una Carta dei Suoli di prima approssimazione.

Solitamente questo primo elaborato fornisce un'indicazione di massima della distribuzione dei pedotipi, ma è possibile che nelle prime indagini in campo non vengano osservati tutti i reali ambiti pedogenetici dell'area di studio, oppure che, nella stesura di questo primo elaborato, diverse zone risultino difficilmente cartografabili per l'elevata variabilità spaziale degli ambiti pedogenetici. In queste zone, le chiavi di interpretazione dei livelli informativi disponibili possono infatti essere ambigue e insufficienti a fornirne l'esatta demarcazione delle Unità Pedologiche per la mancanza di osservazioni dirette. A tale proposito risultano opportuni ulteriori rilievi in campo mirati a caratterizzare pedologicamente le zone più incerte. Nell'ambito della progressiva definizione in dettaglio delle Unità Pedologiche, fondamentale risulta la corretta interpretazione di livelli informativi quali le immagini telerilevate, ma anche le CTR e la cartografia storica.

Una cartografia dei suoli può essere sempre e comunque passibile di modifiche, ma può dirsi di restituire un dato sufficientemente accurato quando ad una certa scala di dettaglio e con i sistemi di rilevamento adottati, ulteriori verifiche in campo non comportano più modifiche significative alla distribuzione delle pedotipi cartografati.

3.2.4 Elaborazione dei dati analitici

I dati relativi ai parametri chimico fisici più significativi, analizzati per la caratterizzazione pedologica delle diverse aree, sono stati elaborati per fornire maggiori spunti interpretativi circa i possibili trend di questi nei suoli.

Generalmente si è scelto di visualizzare, per tipologia di suolo classificato, gli andamenti medi di pH, calcare totale, carbonio organico e CE 1:2.5, a loro volta suddivisi per orizzonte diagnostico o per fascia di profondità.

Nel caso in cui i profili ricadano su diversi cordoni dunali con età di formazione distinta, si è cercato di osservare anche le possibili relazioni esistenti tra i valori dei parametri analitici e l'età di formazione del suolo.

4. CARATTERIZZAZIONE PEDOLOGICA DEI SITI DI STUDIO

4.1. PINETA DI SAN VITALE

La Pineta di San Vitale rappresenta il lembo residuo più grande delle pinete storiche ravennati, e quello che da sempre è stato maggiormente oggetto di studio, in un primo tempo dal punto di vista botanico-floristico e successivamente nell'ambito di approcci scientifici multidisciplinari volti a studiarne gli impatti dell'attività antropica sulle matrici ambientali che lo compongono, compresi i suoli.

4.1.1. Indagine ambientale di Pineta S. Vitale

Ricerca ed analisi dei dati pregressi.

Per la Pineta di S. Vitale il materiale bibliografico recente e storico utile per svolgere un'indagine ambientale finalizzata alla caratterizzazione pedologica è assai vasto e vario, soprattutto per quanto concerne l'aspetto vegetazionale ed ecologico in generale. Meno vasta, ma comunque presente, è la documentazione, pubblicata e inedita, relativa a studi di carattere prettamente pedologico.

I principali studi pedologici pregressi svolti in San Vitale sono i seguenti:

- Zangheri, 1936. Primo studio documentato sui suoli della Pineta di S. Vitale, svolto presumibilmente un'anno prima della pubblicazione.
- Sandri, 1956. Svolto tra il 1954 e il 1955 nell'ambito di un rilevamento dei suoli delle pinete di S. Vitale e Classe e lungo le pinete di Stato litoranee.
- Sandri, 1974. Svolto nel 1968 nell'ambito dello studio multidisciplinare su San Vitale coordinato da Scossiroli (1974).
- Sandri e Casalicchio, 1970. Approfondimento nell'ambito della stessa campagna di rilievi condotta nel 1968, in relazione agli studi sul boro condotti dagli autori sui suoli litoranei della Regione Emilia-Romagna.
- Piazzì, 1988. Rilievo svolto dal 1986 al 1988, con caratterizzazione chimico-fisica molto dettagliata.

- RER, 1994, 1999. Rilievi svolti nell'arco di oltre 10 anni per la redazione delle Carte dei Suoli in scala 1:250000 e 1:50000 (par. 2.4.). Per tali progetti sono stati utilizzati anche alcuni dei profili osservati da Piazzì.

Nel rilievo di Zangheri le osservazioni sono molto generiche, le informazioni su posizione dei rilievi e sulla tipologia di suolo osservato sono minime, i valori riportati sono probabilmente medi di un certo spessore di campionamento non menzionato. Più ricco di analisi il primo rilievo di Sandri anche se ancora scarse le informazioni sulla posizione e sul tipo di suolo. Nei rilievi del 1968 sono ben definiti gli orizzonti di campionamento dei profili, ma ancora incerta la posizione. Solamente nei rilievi di Piazzì e della RER viene indicata su cartografia CTR la posizione dei punti di campionamento. I rilievi del 1968 e del 1986-88 sono accompagnati anche dal monitoraggio delle acque di falda.

Essendo stati svolti questi rilievi con modalità di campionamento e in posizioni diverse l'uno dall'altro non possono essere considerati come un monitoraggio delle condizioni pedologiche della pineta nell'arco di un certo tempo. Sarebbe di conseguenza inappropriato cercare possibili trend di andamento delle proprietà indagate.

Si è cercato tuttavia di sintetizzare i principali dati riportati, suddividendo i profili osservati per tipologia di suolo, ovvero sulla base delle indicazioni relative alla stazione di campionamento (morfologia, vegetazione, profondità di falda) i profili campionati nelle diverse epoche sono stati ricondotti ognuno ad un pedotipo descritto dalla RER (San Vitale, Cerba o Pirottolo). Fatto questo, per ogni periodo di campionamento, i valori analitici sono stati ponderatamente mediati prima sui singoli profili e poi globalmente sul pedotipo ricondotto. I valori sono stati mediati sul primo metro di spessore per i San Vitale e i Cerba, e sui primi 50 cm, per i Pirottolo.

I risultati dell'elaborazione, riportati nelle figure 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 mostrano un'elevata variabilità dei diversi parametri in tutte le tipologie di suolo e durante tutte le epoche di rilevazione. Nei rilievi del 1968 e del 1986-88 si osserva chiaramente un maggiore contenuto di carbonio organico nei suoli ascrivibili ai Pirottolo (da medio a molto elevato secondo il MiPAF, 2006) rispetto ai Cerba e San Vitale (da scarso a molto scarso), legato probabilmente alle condizioni di

maggior accumulo di materia organica parzialmente indecomposta per le condizioni riducenti che verosimilmente si sono venute a creare. Stessa cosa si osserva per l'azoto dove i Pirottolo ne sono da mediamente dotati a ricchi ed i Cerba e S. Vitale ne sono poveri (Giardini, 1986).

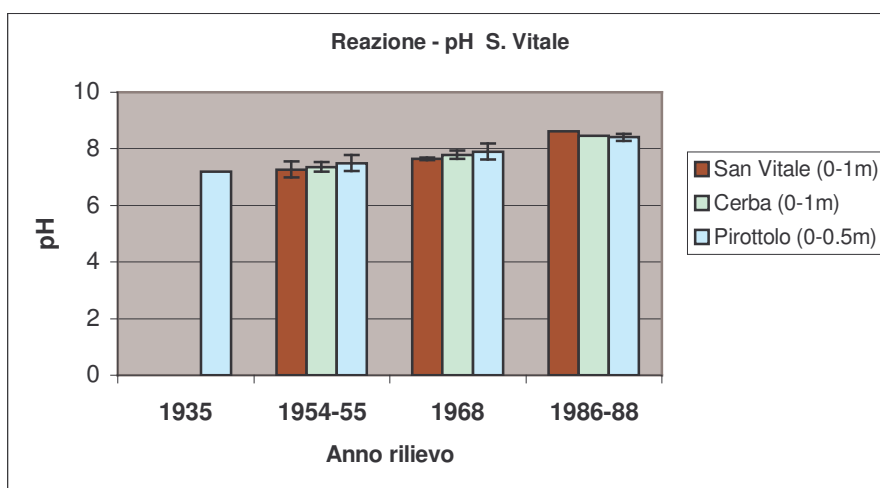


Figura 4.1. pH medio per tipologia di suolo nei diversi rilievi eseguiti.

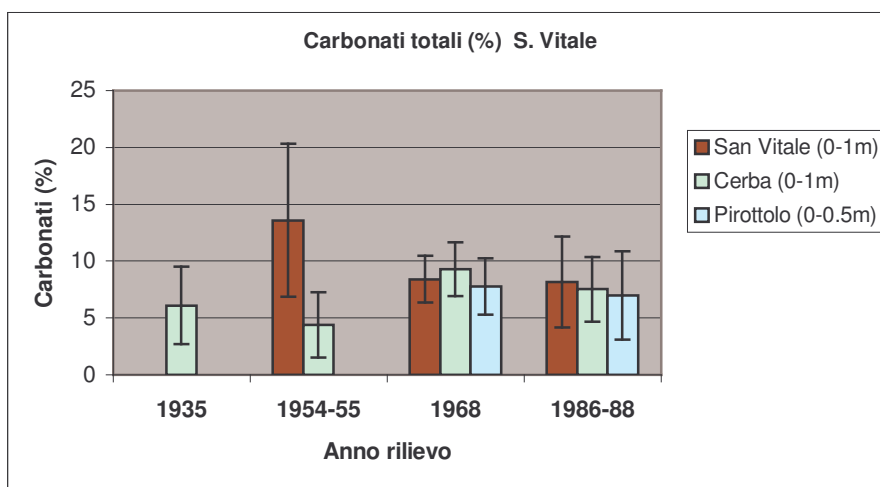


Figura 4.2. Tenore di carbonati medi per tipologia di suolo nei diversi rilievi eseguiti.

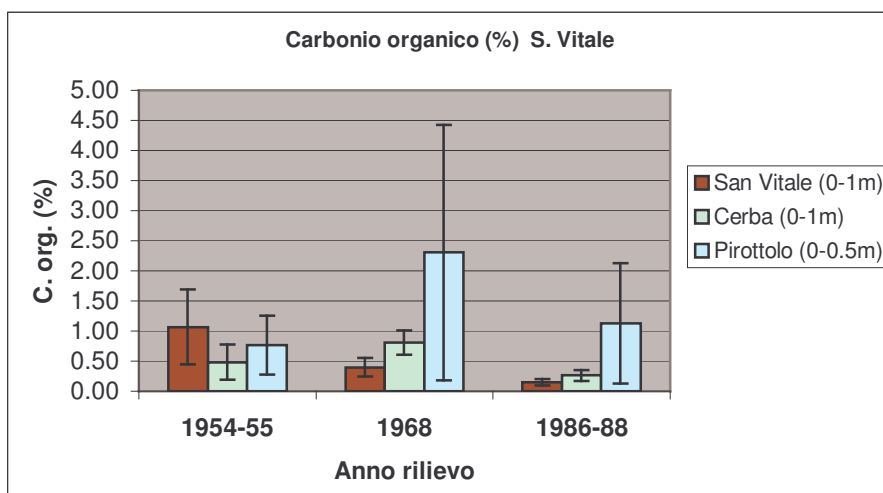


Figura 4.3. Tenore di carbonio organico medio per tipologia di suolo nei diversi rilievi eseguiti.

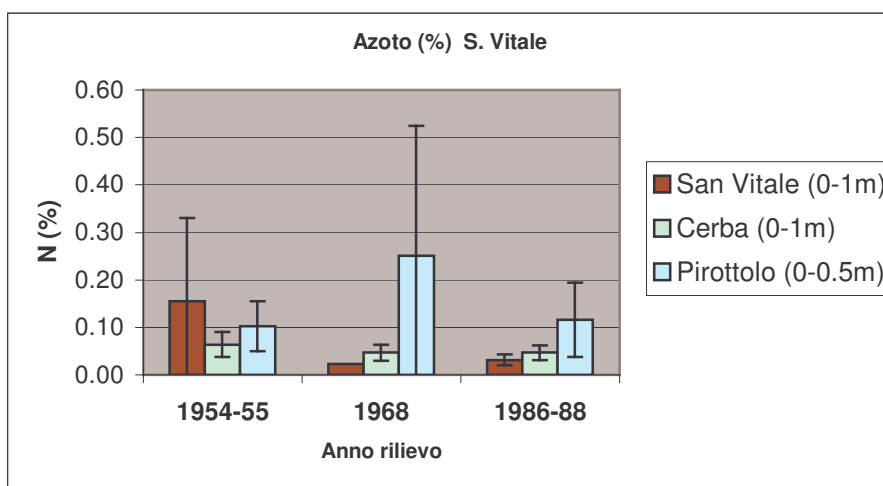


Figura 4.4. Azoto totale medio per tipologia di suolo nei diversi rilievi eseguiti.

Per contro si osserva che il contenuto di carbonati è leggermente inferiore nei Pirottolo rispetto agli altri due pedotipi, riconducibile questo ad una maggiore azione della decarbonatazione legata all'effetto acidificante della sostanza organica. Globalmente risultano comunque moderatamente calcarei (MiPAF, 2006). Riguardo al pH si osserva un leggero aumento dei valori nel corso del tempo, da debolmente alcalino a moderatamente alcalino (MiPAF, 2006) forse dovuto all'aumento dell'alcalinità di scambio legata alla salinizzazione della falda, anche se, per quanto detto prima, ogni estrapolazione di trend risulti azzardata. Si osserva inoltre (tabella 4.1.) che nel rilievo del 1986-88 i suoli Pirottolo possono essere inquadrati come salini ma non sodici, sulla base delle indicazioni dell'US Salinity Laboratory Staff (1954). I livelli di P assimilabile (tabella 4.1) sono molto

bassi (Sbaraglia e Lucci, 1994) per tutti e tre i pedotipi e la CSC presenta valori moderatamente bassi per i San Vitale e moderatamente alti per Cerba e Pirottolo secondo il MiPAF (2006).

Tabella 4.1. Valori medi di fosforo assimilabile, conduttività elettrica, capacità di scambio cationico e percentuale di sodio scambiabile per tipologia di suolo, elaborati dai parametri di Piazzì (1988).

Suoli	P ass. (mg kg ⁻¹)	C.E. (dS m ⁻¹)	C.S.C. (cmol ⁺ 100g ⁻¹)	E.S.P.
S. Vitale	3.06	0.90	14.3	0.64
Cerba	2.15	2.00	16.0	0.41
Pirottolo	2.88	6.18	17.5	0.50

Analizzando i dati pregressi si ha conferma che essi forniscono valori sostanzialmente indicativi dei vari parametri e che quindi non possano essere utilizzati per stimare dei trend nel tempo.

Caratterizzazione climatica.

Per la caratterizzazione climatica è stata elaborata la serie storica dei dati termopluviometrici della stazione meteorologica presso l'Azienda Agricola Sperimentale M. Marani, situata a nord di Ravenna e inserita nella rete Rirer cod. n. 00019.

Sul periodo intercorrente dal 1968 al 2005 sono stati calcolati i valori di temperatura media mensile e di precipitazione media mensile come mostrato in tabella 4.2. Sulla base di questi si è calcolato il diagramma ombrotermico (Bagnouls e Gaussen, 1953) riportato in figura 4.5.

Tabella 4.2. Dati termopluviometrici della serie storica 1968-2005 della stazione meteo dell'Azienda Sperimentale M. Marani.

Stazione: Az. Marani			Quota (m.s.l.m.): 19			Coord. Geogr. ED 50: 44° 27' N; 12° 12' E						
T (C°) P (mm)	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
T	2.5	4.3	8.7	12.4	17.5	21.3	23.8	23.7	19.7	14.6	8.0	3.3
P	37.4	35.7	46.5	58.5	50.4	48.7	38.9	57.8	73.2	65.3	73.0	55.2

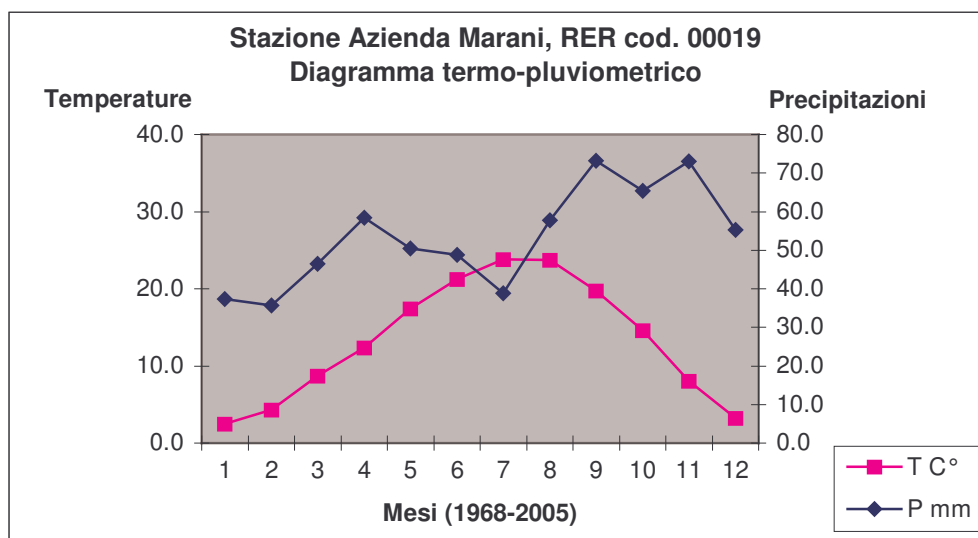


Figura 4.5. Diagramma ombrotermico di Bagnouls-Gaussen rappresentativo delle quattro zone oggetto di studio, su dati della stazione meteo dell'Azienda Sperimentale M. Marani.

Nel diagramma di Bagnouls-Gaussen, le precipitazioni e le temperature sono riportate sull'asse delle ordinate secondo il rapporto $1^{\circ}\text{C} : 2 \text{ mm}$ e viene posta l'ipotesi che il clima determini aridità in tutti i casi in cui $P < 2T$, cioè quando nel diagramma la curva delle precipitazioni è inferiore a quella delle temperature. Tale periodo viene definito il “mese secco” (Pinna, 1977) e nel grafico si osserva che la sua lunghezza è pari a 1 mese, pertanto il clima in esame viene classificato come “submediterraneo” (1-2 mesi secchi) (Dazzi, 1995).

Dal diagramma di figura 4.5 si osservano due massimi di precipitazioni uno principale nella stagione autunnale (mesi di settembre, ottobre e novembre con rispettivamente: 73.2, 65.3 e 73 mm), mentre massimo secondario si registra nel mese di aprile (58.5 mm). Le precipitazioni totali annue ammontano a 640.6 mm. Il massimo di temperatura media mensile si registra nel mese di luglio (23.8°C) mentre il mese più freddo risulta essere gennaio (2.5°C). La temperatura media annua risulta essere pari a 13.3°C .

I dati di temperatura e precipitazioni della serie storica sono stati poi impiegati per la definizione, tramite il Newhall Simulation Model, dei regimi di temperatura e di umidità del suolo. L'elaborazione restituisce come risultato un regime di temperatura “termico”, in quanto la temperatura del suolo è compresa tra 15 e 22

°C (15.8 °C) e la differenza tra la media estiva ed invernale risulta essere maggiore di 6 °C. Il regime di umidità è invece “ustico” (figura 4.6).

Station:Marani		Country:Italy		Latit: 44 27 N							
Elevation: 19				Longit: 12 13 E							
Annual rainfall 641 mm											
Temperature regime: thermic				Moisture regime: Ustic							
SOIL CLIMATIC REGIME ACCORDING TO NEWHALL COMPUTATION (soil temp.=air temp.+2.5 C; amplit. reduced by 1/3)											
JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
monthly rainfall (mm)											
37.4	35.7	46.5	58.5	50.4	48.7	38.9	57.8	73.2	65.3	73.0	55.2
monthly air temperatures (Celcius)											
2.5	4.3	8.7	12.4	17.5	21.3	23.8	23.7	19.7	14.6	8.0	3.3
monthly evapotranspiration (Thornthwaite), mm.											
3.7	8.2	27.9	51.4	94.6	127.4	150.5	138.1	91.8	54.6	19.4	5.2
TEMPERATURE CALENDAR						MOISTURE CALENDAR					
(- : T<5) (5 : 5<T<8) (8 : T>8)						1 = DRY ; 2 = M/D ; 3 = MOIST					
1*****15*****30						1*****15*****30					
JAN	-----					33333333333333333333333333333333					
FEB	-----					33333333333333333333333333333333					
MAR	-----5555555555555555888888					33333333333333333333333333333333					
APR	88888888888888888888888888888888					33333333333333333333333333333333					
MAY	88888888888888888888888888888888					33333333333333333333333333333333					
JUN	88888888888888888888888888888888					33333333333333333333333333333333					
JUL	88888888888888888888888888888888					33333332222222222222222222222222					
AUG	88888888888888888888888888888888					22222222111111122222222222111111					
SEP	88888888888888888888888888888888					11111111111111122222222222222222					
OCT	88888888888888888888888888888888					22222222222222222222222222222222					
NOV	88888888888888888888888888888888					22222222222222222222222223333333					
DEC	5555555555555555-----					33333333333333333333333333333333					

Number of cumulative days that the moisture control section						Highest number of consecutive days that the MCS is					
During one year is			When soil temp is above 5 deg. C			Moist in some parts		Dry after summer		Moist after winter	
DRY M/D MOIST			DRY M/D MOIST			YEAR T>8		solstice		solstice	
26 112 222			26 112 137			324 135		20		120	

*

Computed by BASIC program NSM, November 1986

Tentative subdivision: Wet Tempustic

Figura 4.6. Foglio di output del Newhall Simulation Model, mostrante il regime di temperatura e di umidità ed i livelli di umidità della sezione di controllo durante l'anno.

La sezione di controllo risulta essere prevalentemente umida durante l'anno per 222 giorni, parzialmente umida per 112 giorni e secca per 26 giorni (distribuiti nei mesi di agosto e settembre). Al riguardo del regime di temperatura, il dato risulta diverso da quanto riportato dalla RER (1994) che individua nella zona un regime di tipo mesico, questo è essenzialmente dovuto ad una sovrastima della temperatura

del suolo fatta dal modello, a partire dalla temperatura dell'aria che gli viene fornita (15.8 °C anziché 14.3 °C). Per quanto riguarda il regime di umidità del suolo il dato è in sintonia con quanto riportato in bibliografia (RER, 1994), dove vengono descritti nella zona, suoli ascrivibili al grande gruppo degli Ustipsamments (SSS, 2006).

Per quanto riguarda il bilancio idrico si è voluto prendere in esame le tre possibili condizioni presenti nelle zone studiate, riferibili alle tre tipologie di suolo descritte dalla RER. Mediante l'utilizzo di WATBAL, sono stati quindi elaborati tre possibili bilanci idrici relativi ai suoli San Vitale, Cerba e Pirottolo. Per quanto riguarda le caratteristiche pedologiche sono stati scelti per ogni pedotipo i dati di un profilo rappresentativo. I profili presi in considerazione, denominati PZ1, PZ4 e PZ7, rappresentano rispettivamente i suoli Pirottolo, Cerba e San Vitale. Di essi ne viene esposta la trattazione dei dati principali nel sottopar. 4.1.2 (tabella 4.6) e più ampiamente nel cap. 5.

Nel calcolo dell'AWC mediante "Soil water characteristics" (Saxton, 2003) nei pedotipi Cerba e Pirottolo si è considerata acqua disponibile anche quella che, entro il metro di profondità, occupa i macropori per presenza della falda freatica. Oltre all'AWC data dalla differenza tra capacità di campo e coefficiente di appassimento, è stata considerata, nella porzione satura, anche l'acqua di saturazione al netto della capacità di campo.

I diagrammi dei bilanci idrici, riportati nelle figure 4.7, 4.8, 4.9, mostrano gli andamenti mensili di: precipitazione (P), evapotraspirazione effettiva (AET), evapotraspirazione potenziale (PET), umidità del suolo (SM), surplus idrico (S) e deficit evapotraspirativo ($D = PET - AET$).

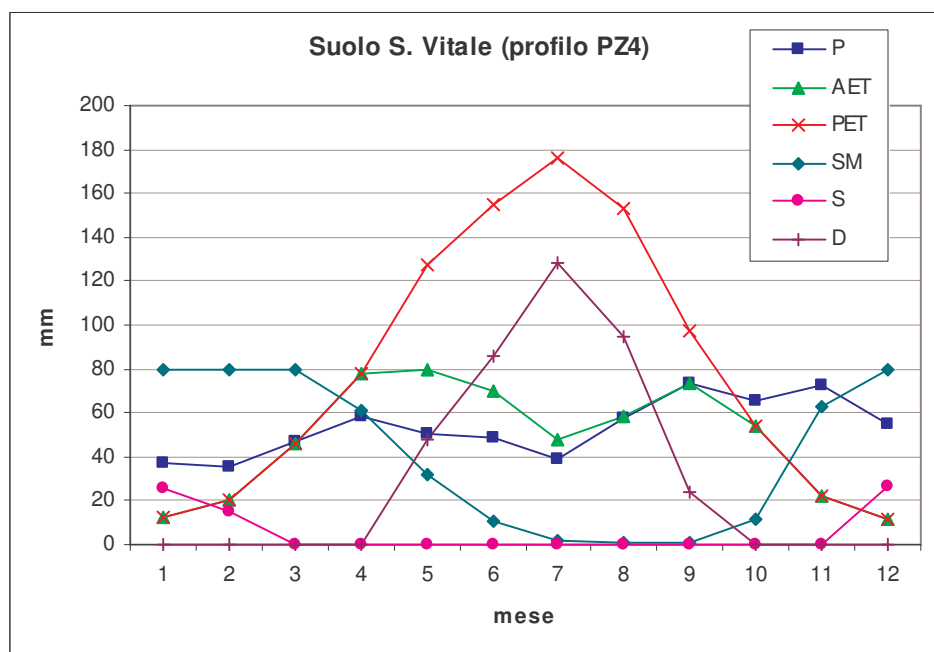


Figura 4.7. Bilancio idrico su suolo San Vitale (profilo PZ4).

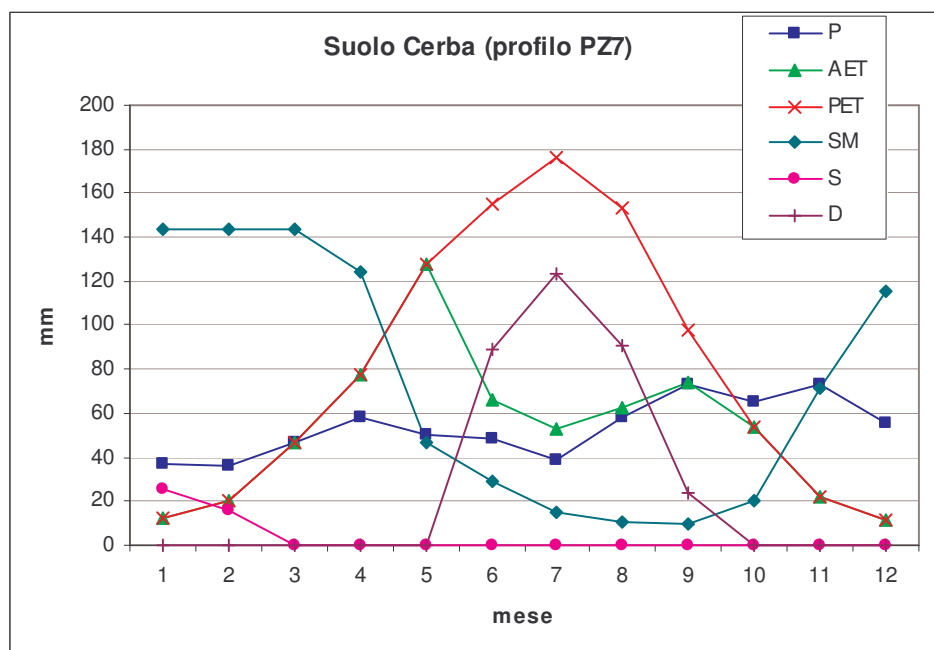


Figura 4.8. Bilancio idrico su suolo Cerba (profilo PZ7).

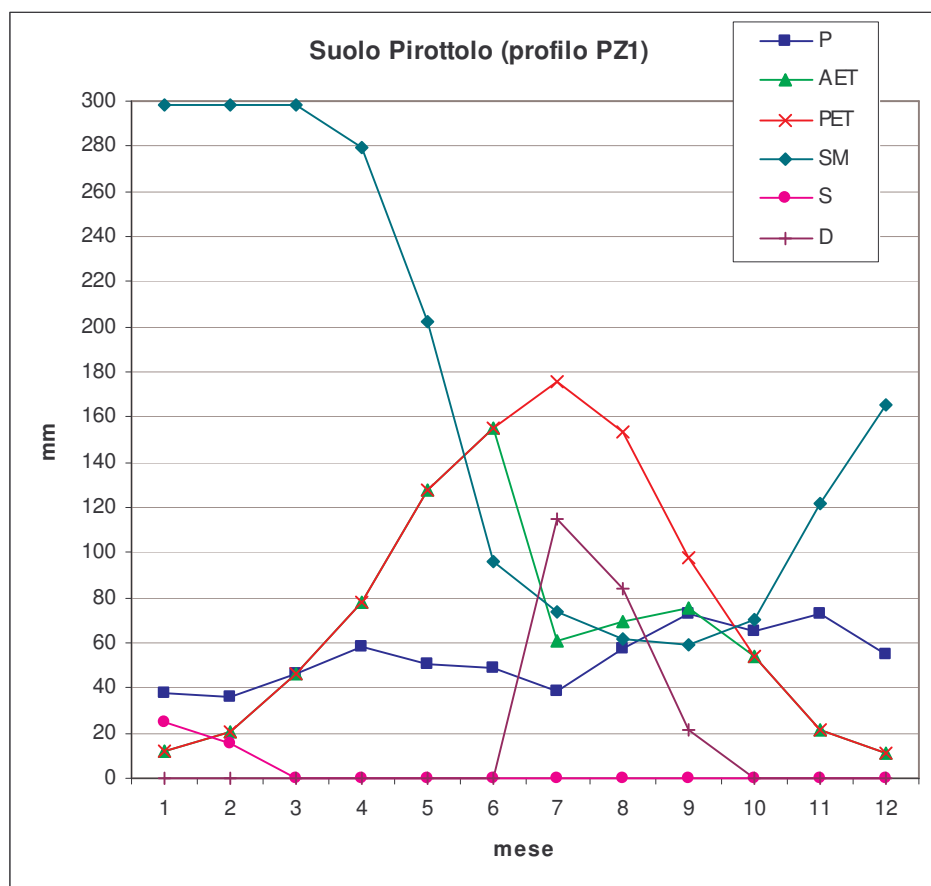


Figura 4.9. Bilancio idrico su suolo Pirottolo (profilo PZ1).

Il suolo San Vitale (PZ4) presenta un'AWC bassa (MiPAF, 2006) e dall'osservazione del bilancio idrico si osserva un surplus d'acqua complessivo di 67 mm distribuito da novembre a marzo. Questo vuol dire che vi è acqua sufficiente per la ricarica dell'acquifero e l'evapotraspirazione della vegetazione. Nei mesi di aprile, maggio, giugno, luglio ed ottobre non c'è sufficiente precipitazione per soddisfare l'ET potenziale, ma c'è ancora abbastanza umidità trattenuta nel suolo che può essere ceduta alle radici delle piante. Nei mesi di agosto e settembre l'umidità trattenuta dal suolo è prossima a zero e le precipitazioni sono subito usate dalle piante nell'evapotraspirazione. Il bilancio è prossimo allo zero e il quantitativo di acqua evapotraspirata è pressoché uguale a quella filtrante.

Il suolo Cerba (PZ7) presenta saturazione idrica ad inizio anno a 79 cm dal p.c. (tabella 4.7) e l'acqua gravitazionale di falda contribuisce per il 39% all'acqua disponibile entro 1 m di profondità. Il surplus idrico (totale di 41 mm) vi è solo nei

mesi di gennaio e febbraio, ma l'elevato contenuto di umidità riesce a soddisfare al pieno le esigenze evapotraspirative delle piante anche nei mesi di aprile, maggio ed ottobre. Inoltre anche nei mesi estivi il bilancio si mantiene sempre positivo.

Il suolo Pirottolo (PZ1) presenta saturazione idrica ad inizio anno a soli 23 cm da p.c. (tabella 4.7) e l'acqua gravitazionale di falda contribuisce per il 67% all'acqua disponibile. Il surplus idrico (totale di 41 mm) vi è solo nei mesi di gennaio e febbraio, ma l'umidità del suolo soddisfa al pieno le esigenze evapotraspirative delle piante nei mesi di marzo, aprile, maggio, giugno ed ottobre. Nei mesi estivi l'umidità del suolo non scende mai sotto valori di 60 mm.

Per il suolo San Vitale, i valori degli indici calcolati per la classificazione climatica di Thornthwaite e Mather (1957) sono i seguenti:

$$IH \text{ (indice di umidità)} = (100 \times S)/PET = 7.1$$

$$IA \text{ (indice di aridità)} = (100 \times D)/PET = 39.9$$

$$IUG \text{ (indice di umidità globale)} = IH - IA = -32.8$$

$$CE \text{ (concentrazione estiva dell'efficienza termica)} = 50.8\%$$

Sulla base dei suddetti indici il sito del suolo San Vitale può essere classificato nel seguente modo:

$$D B'_3 d b'_4$$

dove:

Tipo climatico	D	Semiarido
Varietà climatica	B ₃	3° mesotermico
Variazione stagionale di umidità	d	Surplus idrico minimo o assente
Concentrazione estiva dell'efficienza termica	b' ₄	50.8%

Il tipo climatico deriva dalla maggiore aliquota di deficit idrico rispetto al surplus idrico; l'evapotraspirazione potenziale elevata (953.7 mm) determina la varietà climatica. Inoltre è presente una sensibile deficienza idrica estiva ed una concentrazione estiva dell'efficienza termica pari al 50.8%.

La caratterizzazione climatica illustrata, per l'areale non esteso e l'assenza di fattori vincolanti quali altimetria ed esposizione, può essere estendibile alle quattro zone oggetto di studio.

Livelli tematici.

Per la Pineta di San Vitale i livelli informativi trattabili mediante GIS utilizzati per l'indagine ambientale sono stati i seguenti:

- DEM (Digital Elevation Model) delle quote altimetriche aggiornate al 2004.
- DEM dei livelli piezometrici medi dell'acquifero freatico nel periodo autunno 2004 – estate 2005 (Giambastiani, 2006).
- Carta della vegetazione aggiornata al 2005 (Ferrari e Diani, 2006)
- Carta geologica in scala 1:50000.
- Immagini telerilevate da satellite Quick Bird 2003.
- Carta Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:10000.

Il primo passo per individuare le unità di paesaggio è stato quello di trovare le profondità di falda riconducibili ai tre pedotipi indicati dalla RER. Per far questo al DEM delle quote altimetriche è stato sottratto il DEM dei livelli piezometrici, mediante l'estensione di ArcView 3.2a "Extract Z value from TIN into point theme" gestibile in ambiente 3D Analyst. L'operazione ha permesso di ottenere un terzo DEM relativo alle profondità di falda dal p.c. (figura 4.10).

Il livello informativo ottenuto è stato riclassificato in tre fasce di profondità riconducibili ai tre pedotipi, sulle indicazioni riportate dalla RER (1999) gli intervalli di profondità sono stati i seguenti:

0 e \geq -50 cm	riconducibile a suolo Pirottolo
< -50 e \geq -150 cm	riconducibile a suolo Cerba
< -150 cm	riconducibile a suolo San Vitale

Successivamente si è preso in esame la Carta della vegetazione ed i vari tipi vegetazionali sono stati riclassificati sulla base dei suoli ad essi riconducibili come mostrato in tabella 4.3.

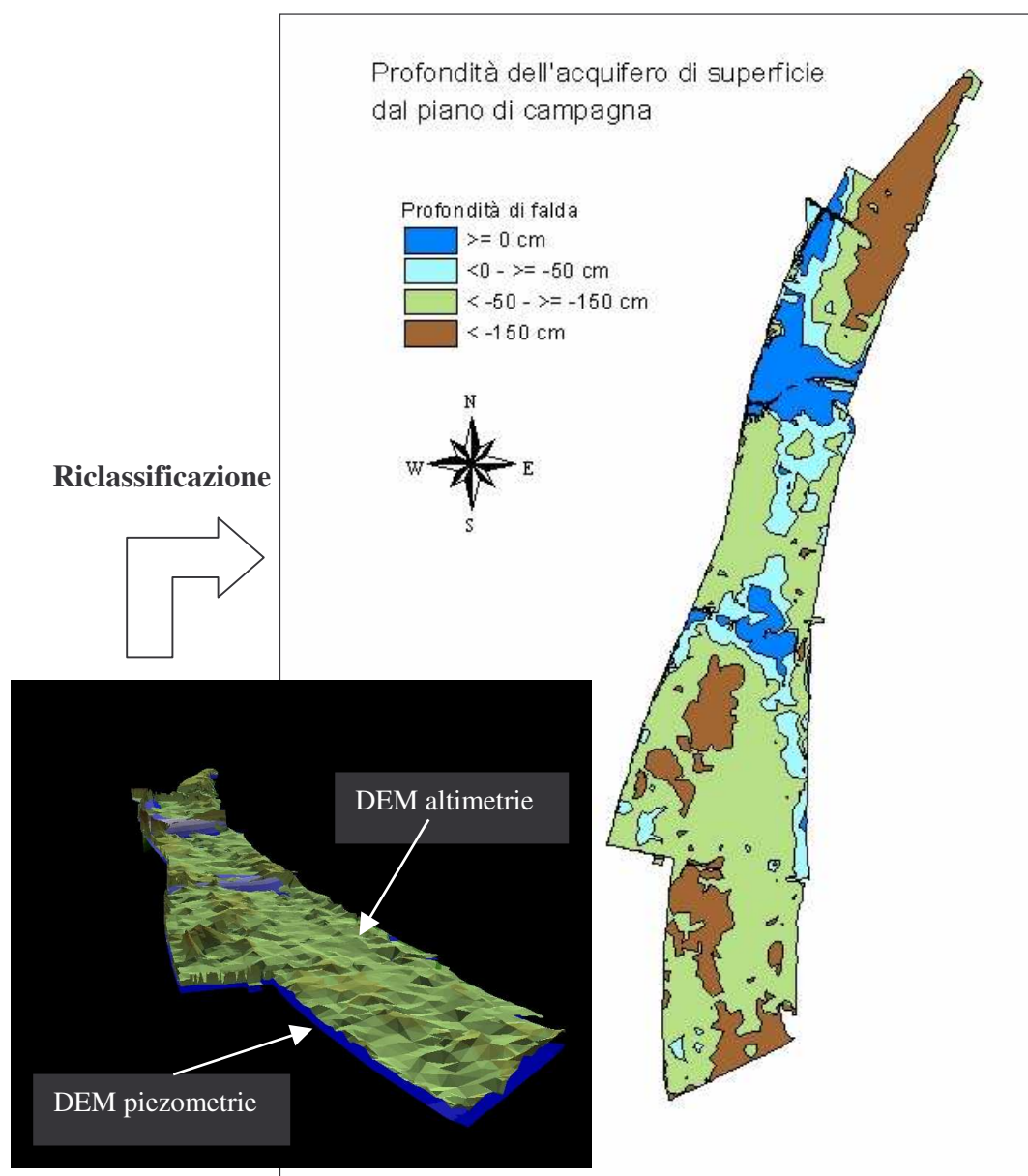


Figura 4.10. Rappresentazione della profondità dell'acquifero freatico dal p.c. e sua riclassificazione in fasce di profondità, riconducibili ai tre pedotipi indicati dalla RER, 1999.

Tabella 4.3. Riclassificazione dei tipi vegetazionali di Pineta S. Vitale facendo ricondurre a ciascuno uno o più tipi di suoli possibili.

Tipo vegetazionale	Sintaxa presenti	Suolo riconducibile
Bp	<i>Bromo tectorum-Phleetum.</i>	Cerba/San Vitale
BpBa	<i>Bromo tectorum-Phleetum arenarii</i> /Conifere adulte.	San Vitale
Im	<i>Juncetalia maritimi.</i>	Cerba
ImMp	<i>Juncetalia maritimil Scirpetalia compacti.</i>	Pirottolo
Pp	<i>Limonio narbonensis-Puccinellietum festuciformis.</i>	Pirottolo
Ia	<i>Juncetum maritimo-acuti.</i>	Pirottolo
Rp	<i>Ruppietalia.</i>	Pirottolo/Falda affiorante
Mp	<i>Scirpetalia compacti.</i>	Pirottolo/Falda affiorante
MpIm	<i>Scirpetalia compacti/ Juncetalia maritimi.</i>	Pirottolo
Fg	Facies a <i>Phragmites australis</i> (<i>Scirpetalia compacti</i>).	Pirottolo/Falda affiorante
Mo	<i>Molinietalia.</i>	Cerba/Pirottolo
Az	<i>Allio suaveolentis-Molinietum</i>	Pirottolo
Po	<i>Potametalia.</i>	Falda affior.
Pr	<i>Phragmitetum vulgaris</i>	Pirottolo
Is	<i>Holoschoeno-Juncetum</i>	Pirottolo/Cerba
Br	<i>Brometalia erecti.</i>	Cerba/San Vitale
Bn	<i>Schoeneto-Chrysopogonetum grylli.</i>	Cerba
Ps	<i>Prunetalia spinosae</i> .	Cerba
PsBa	<i>Prunetalia spinosae</i> /Boschi di conifere adulte.	Cerba/San Vitale
PsRm	<i>Prunetalia spinosae</i> /Rimboschimenti misti di conifere e latifoglie.	Cerba/San Vitale
Hi	<i>Junipero communis-Hippophaetum fluviatilis.</i>	Cerba
Aq	<i>Alnetalia glutinosae.</i>	Cerba/Pirottolo
AqBa	<i>Alnetalia glutinosae/</i> conifere adulte	Cerba
AqRl	<i>Alnetalia glutinosae</i> /Rimboschimenti di latifoglie.	Cerba
Cd	Boschi misti di <i>Fraxinus oxycarpa</i> , <i>Populus alba</i> .	Pirottolo/Cerba
Oq	boschi di sempreverdi xerofili, <i>Quercus ilex</i> .	San Vitale
Qp	Aggruppamento a <i>Quercus robur</i> e <i>Q. pubescens</i> .	Cerba
QpBa	Aggruppamento a <i>Quercus robur</i> e <i>Q. pubescens</i> /conifere adulte	Cerba
Ba	Conifere adulte, <i>Pinus pinea</i> con <i>Pinus pinaster</i> .	Cerba
Ra	Rimboschimenti recenti di conifere.	Cerba
Rm	Rimboschimenti misti di conifere e latifoglie.	Cerba
Rl	Rimboschimenti di latifoglie.	Cerba

Il livello della carta della vegetazione riclassificato è stato successivamente sovrapposto al livello della profondità di falda riclassificata.

Da un'osservazione a priori dei due livelli da sovrapporre si è ipotizzato che la vegetazione potesse fornire un dato maggiormente verosimile circa il tipo di suolo risultante dalla riclassificazione, in quanto le relazioni suolo vegetazione sono

molto strette. L'extrapolazione dei pedotipi dal livello della profondità di falda è invece molto più incerta in quanto la rete dei punti quotati è decisamente troppo larga per ricostruire fedelmente la topografia di tali aree.

Pertanto in sede di riclassificazione del livello risultante dall'overlay ottenuto si è cercato di dare maggiore importanza al dato proveniente dalla carta della vegetazione. Il criterio di riclassificazione della griglia di poligoni del nuovo livello è esemplificata in tabella 4.4.

Tabella 4.4. Schema esemplificativo di riclassificazione della griglia di poligoni del livello risultante dall'overlay tra profondità della falda freatica e carta della vegetazione riclassificati.

	Pedotipi ricondotti	Carta della vegetazione riclassificata						
		S. Vitale	S. Vitale/ Cerba	Cerba	Cerba/ Pirottolo	Pirottolo	Pirottolo/ Falda aff.	Falda aff.
Profondità falda freatica riclass.	S. Vitale	S. Vitale	S. Vitale	Cerba	Cerba	Pirottolo	Pirottolo	Falda aff.
	Cerba	S. Vitale	Cerba	Cerba	Cerba	Pirottolo	Pirottolo	Falda aff.
	Pirottolo	S. Vitale	Cerba	Cerba	Pirottolo	Pirottolo	Pirottolo	Falda aff.
	Falda aff.	S. Vitale	Cerba	Cerba	Pirottolo	Pirottolo	Falda aff.	Falda aff.

Il livello riclassificato ottenuto individua in prima approssimazione le Unità di Paesaggio (figura 4.11). Gli ambiti omogenei sono stati quindi definiti meglio con l'osservazione di immagini satellitari Quick Bird 2003 e delle CTR. Le immagini telerilevate hanno permesso di definire meglio, tramite l'osservazione della vegetazione, le zone riconducibili alle sommità dunali (presenza di pini, vegetazione scura), le zone che risentono maggiormente della vicinanza di falda (latifoglie, vegetazione più chiara) e le bassure interdunali meno alberate e con colori del suolo scoperto più scuro per la maggiore umidità. Le CTR d'altro canto sono state utilizzate per individuare le sommità dunali (riconoscibili dalla presenza dei sentieri) o le bassure a vegetazione palustre (riconoscibili dai simboli della toponomastica). Altro livello utilizzato è stato quello dei paleocordoni della Carta Geologica (figura 2.3, cap. 2). La Carta delle Unità di Paesaggio ottenuta dalla sola elaborazione dei dati pregressi è mostrata in figura 4.12.

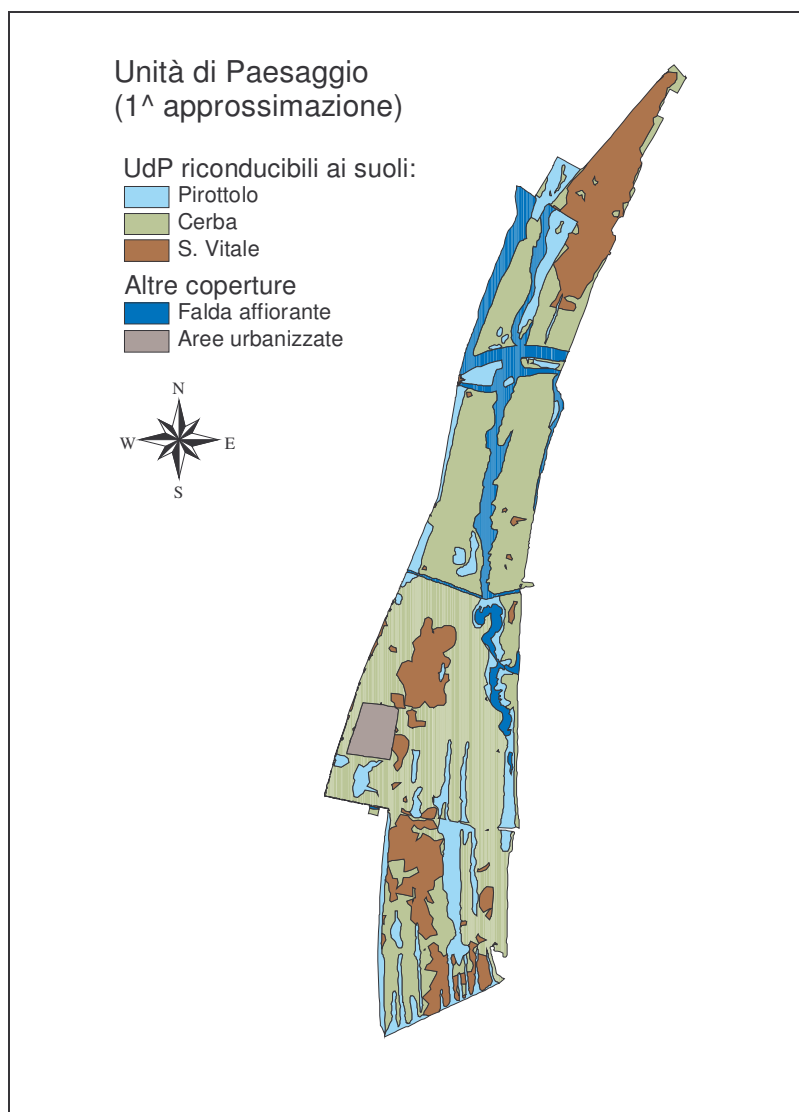


Figura 4.11. Carta delle Unità di Paesaggio di 1^ approssimazione. Individua degli ambiti omogenei dalla sovrapposizione della Carta della Vegetazione con il livello di profondità di falda, entrambi riclassificati.

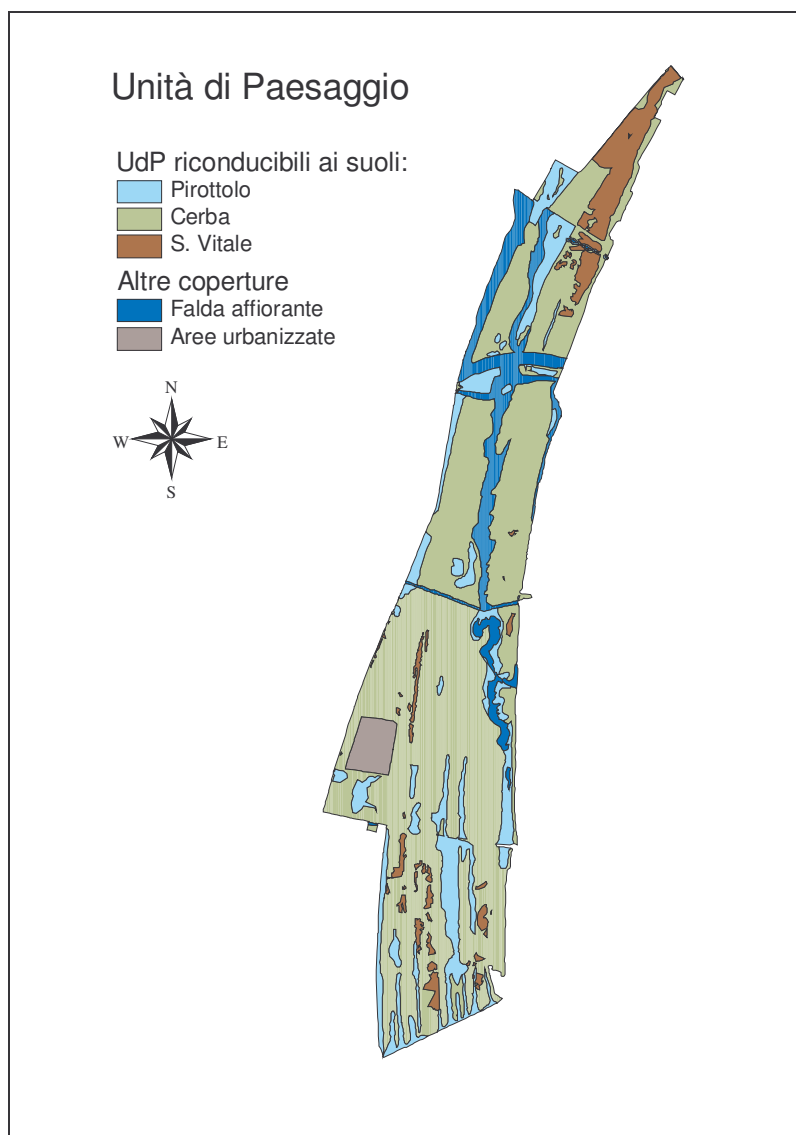


Figura 4.12. Carta delle Unità di Paesaggio di 1^approssimazione. Individua degli ambiti omogenei dalla sovrapposizione della Carta della Vegetazione con il livello di profondità di falda, entrambi riclassificati.

4.1.2. Indagine pedologica di Pineta S. Vitale

Nella fase iniziale dell'indagine pedologica in Pineta San Vitale sono stati stabiliti i punti dove effettuare il rilevamento speditivi mediante trivellate. Per la morfologia dell'area si è scelto di effettuare i rilievi lungo una serie di transetti con direzione ovest – est, in modo da poter attraversare perpendicolarmente gli allineamenti dunali della pineta e quindi incontrare tutte le tipologie di suolo descritte. Una prima battuta di rilievi speditivi (figura 4.13) corroborata dalle dovute osservazioni in campo, ha permesso di definire meglio i limiti delle Unità di

Paesaggio, migliorando le chiavi di interpretazione dei livelli informativi disponibili.

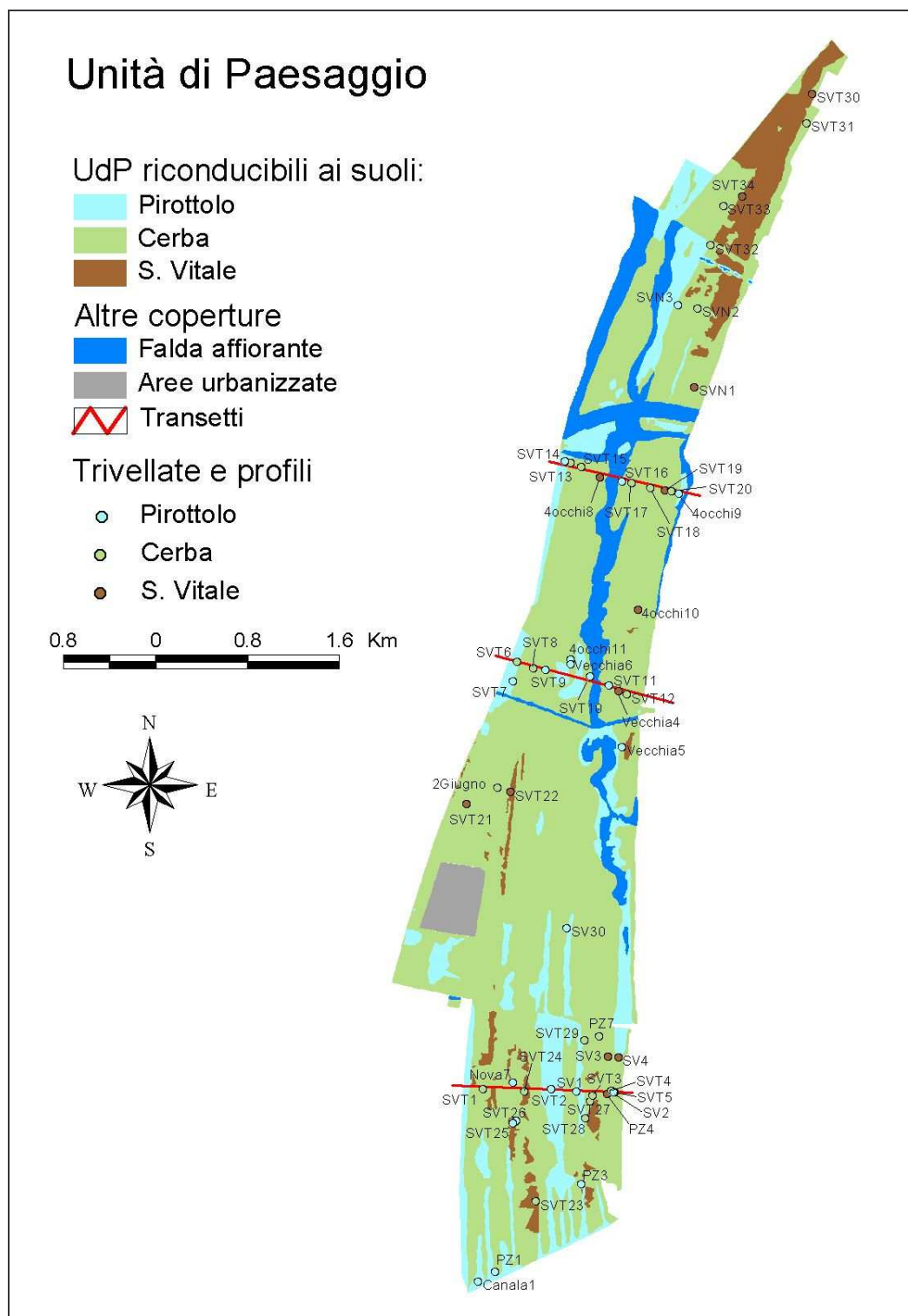


Figura 4.13. Quadro complessivo dei siti di rilevamento speditivo e di apertura dei profili in Pineta S. Vitale.

Tabella 4.5. Quadro dei rilevamenti speditivi svolti mediante trivellate in Pineta di San Vitale.

Punto GPS	Coord. (UTM - WGS84 - Fuso 33)		Data	Morfologia	Vegetazione e tipo vegetazionale (1)	Prof. di falda (2)	Prof. screziature	Osservazioni	Suolo RER (3)
	E (m)	N (m)				cm	cm		
SVT 1	279128	4928552	30/06/05	Piana interdunale	Pioppo, quercia, edera, sambuco	-128	70-80		C
SVT 2	279721	4928554	30/06/05	Zona depressa	Carpini	-45			P
SVT 3	280080	4928494	30/06/05	Zona più rilevata	Pini maturi radi con sottobosco misto	-113			C
SVT 4	280243	4928535	30/06/05	Piana interdunale	Erbacea alofila	-89	45+		C
SVT 5	280270	4928526	30/06/05	Zona depressa	Erbacea alofila	-50	20+		P
SVT 6	279423	4932267	06/07/05	Piana interdunale	Assenza di pini, quercia, frassino, pungitopo, edera	-138			C
SVT 7	279386	4932096	06/07/05	Zona depressa	Quercia, frassino, assenza di pini	-11			P
SVT 8	279565	4932207	06/07/05	Piana interdunale	2 pini secolari, quercie e molti frassini, pungitopo e felci	-98	50+	radura di pungitopo e felci	C
SVT 9	279665	4932197	06/07/05	Bassura inondabile	Pini radi deperienti, quercia, pioppo, biancospino	-45			P
SVT 10	280054	4932138	06/07/05	Bassura inondabile	Quercia, pioppo	-60	20+		P
SVT 11	280217	4932063	06/07/05	Zona depressa	Poche quercie, frassini	-47	15-20+		P
SVT 12	280376	4931980	06/07/05	Piana interdunale	Pino, quercia, biancospino	-79	30+		C
SVT 13	297888	4933992	07/07/05	Zona depressa	Assenza di pini, pioppi, frassini; edera e rovi come cespugliato	-77		sito idoneo profilo Cerba	C

1 : Tipo vegetazionale da Carta della Vegetazione (Ferrari e Diani, 2006) indicato tra parentesi

2 : "-" significa assente entro i 150 cm da p.c.

3 : SV = San Vitale, C = Cerba, P = Pirottolo

Continuazione tabella 4.5

SVT 14	279839	4934007	07/07/05	Zona depressa	Frassini, abbondante vegetazione erbacea, presenza di un pioppo e una quercia	-30			P
SVT 15	279979	4933958	07/07/05	Piana interdunale	Pini radi deperienti. Quercia, biancospino, asparago, vegetazione xerofila, rovi	-129			C
SVT 16	280331	4933831	07/07/05	Bassura inondabile	Assenza pini, frassino, quercia, cannuccia di palude	-35			P
SVT 17	280414	4933818	07/07/05	Piana interdunale	Pini secolari radi, quercia, frassino, felci e rovi alla base	-129			C
SVT 18	280582	4933775	07/07/05	Piana interdunale	Pini secolari radi deperienti, quercie rade biancospino, ginepro, pungitopo	-127			C
SVT 19	280708	4933753	07/07/05	Zona rilevata	Pini radi, quercia, biancospino, pungitopo, asparago	-		Sito lungo sentiero	SV
SVT 20	280760	4933749	07/07/05	Piana interdunale	Pini radi, quercia e frassino, biancospino, rovi, pungitopo	-73		Lungo sentiero non lavorato	C
SVT 21	278985	4931028	26/09/05	Zona rilevata	Pini radi, arbusti	-	80+ e 60-90	Screz. rosse (80+) e brune (60-90)	SV
SVT 22	279365	4931133	26/09/05	Sommità duna	Pini radi, arbusti, rovere, pungitopo	-	screziature minime o assenti	Suolo bruno fino a 15 cm e umido, asciutto sotto i 15 cm e più chiaro. SO a 30-40cm	SV
SVT 23	279582	4927576	26/09/05	Zona depressa	Pini secolari radi, in parte deperienti, pungitopo, rosa canina, quercia	-55			C
SVT 24	279485	4928528	26/09/05	Piana interdunale	Pini radi deperienti, pioppi, pungitopo	-120	80+		C

1 : Tipo vegetazionale da Carta della Vegetazione (Ferrari e Diani, 2006) indicato tra parentesi

2 : "-" significa assente entro i 150 cm da p.c.

3 : SV = San Vitale, C = Cerba, P = Pirottolo

Continuazione tabella 4.5

Punto GPS	Coord. (UTM - WGS84 - Fuso 33)		Data	Morfologia	Vegetazione e tipo vegetazionale (1)	Prof. di falda (2)	Prof. screziature	Osservazioni	Suolo RER (3)
	E (m)	N (m)				cm	cm		
SVT 25	279383	4928258	26/09/05	Zona rilevata	Assenza di pini, frassino	-28	20+	Orizz. organico sino a 10 cm	P
SVT 26	279412	4928276	26/09/05	Interduna margine sentiero		-50			P
SVT 27	270057	4928450	26/09/05	Piana interdunale	Pini radi e grandi, biancospino, pungitopo e asparago	-66			C
SVT 28	280015	4928300	26/09/05	Piana interdunale	Pini secolari radi, biancospino, pungitopo, asparago	-82	30+	suolo molto umido già a 60 cm	C
SVT 29	280007	4928976	26/09/05	Piana interdunale	Pini radi deperienti, pungitopo, asparago, biancospino	-87			C
SVT30	281983	4937202	06/12/05	Zona rilevata	Pino domestico, pungitopo, asparago, veg. erbacea (Ps)	-		pH sub alcalino, carbonati presenti	SV
SVT31	281937	4936945	06/12/05	Piana interdunale	Pino marittimo, pioppo, edera, veg erbacea	-115		pH sub alcalino, carbonati presenti	C
SVT32	281104	4935883	06/12/05	Piana interdunale	Erbacea ed arbustiva (Ps)	-70	30 - 40		C
SVT33	281211	4936224	06/12/05	Piana interdunale	Pino marittimo rado, biancospino, pungitopo, rovi	-138	40+		C
SVT34	281378	4936310	06/12/05	Zona rilevata	Pino domestico fitto, abbastanza sottobosco di pungitopo e biancospino	-			SV

1 : Tipo vegetazionale da Carta della Vegetazione (Ferrari e Diani, 2006) indicato tra parentesi

2 : "-" significa assente entro i 150 cm da p.c.

3 : SV = San Vitale, C = Cerba, P = Pirottolo

I rilievi speditivi sono stati effettuati a più riprese ed anche dopo l'apertura dei primi profili. Svolti spesso in virtù delle esigenze conoscitive sorte durante l'indagine, sino a un totale di 34 trivellate.

I siti interessati dalle trivellate sono mostrati in tabella 4.5, comprensivi di osservazioni pedologiche e morfologico-vegetazionali.

Successivamente si è passati all'apertura dei profili pedologici all'interno degli ambiti omogenei sondati in campo. Nel corso di oltre due anni di rilievi (fine 2004 – inizio 2007) sono stati aperti, descritti e campionati 22 profili. Per la descrizione dei singoli profili si rimanda alle schede pedologiche in Allegato 1.

In sede di apertura dei profili, se presente, è stata campionata anche acqua di falda. I campionamenti delle acque di falda durante la caratterizzazione pedologica di S. Vitale sono stati 40.

Le analisi chimico-fisiche sui campioni di suolo e di acqua sono illustrate in tabella 4.6 e 4.7. Di seguito verranno commentati di diversi parametri analizzati.

Tessitura. La tessitura è stata calcolata mediante l'utilizzo del triangolo tessiturale USDA sulla base delle percentuali di sabbia, limo e argilla determinate secondo indicazioni del MiPAF (2000). Dei 22 profili considerati, 8 presentano tessitura sabbiosa in tutti gli orizzonti e 4 presentano esclusivamente tessitura sabbiosa-franca. Gli altri profili presentano sovente orizzonti sabbiosi alternati a sabbiosa-franca, con questi ultimi specialmente negli orizzonti superficiali. Tendenzialmente i profili situati in zone interdunali presentano percentuali di limo e argilla un po' superiori (SV2, Vecchia5, Canala1, PZ1, PZ3 e SV30), ma comunque i tenori di sabbia sono sempre maggiori del 70% e a volte anche in questi ambiti si hanno profili a tessitura interamente sabbiosa (4Occhi9 e 11). I profili sulle sommità dunali in ambiente privo di sottobosco sono quelli generalmente con le maggiori aliquote di sabbia. Solamente in Canala1 ed SV30 si osservano orizzonti franco-sabbiosi.

Reazione - pH. Il valore medio complessivo di pH è 7.96, ma all'interno dei profili si osservano variazioni con valori che vanno da moderatamente acido a molto fortemente alcalino. Generalmente si assiste ad un trend di aumento dei

valori dagli orizzonti superficiali a quelli profondi che può essere più o meno marcato sia nei suoli di sommità dunale, dove l'effetto acidificante della lettiera di aghi di pino porta il pH a valori neutri o debolmente acidi, sia nelle bassure dove l'accumulo di materia organica parzialmente decomposta e le condizioni riducenti portano a risultati analoghi. In questi ultimi siti non sempre i valori aumentano con la profondità al pari di quelli normalmente raggiunti sulle sommità dunali (moderatamente o fortemente alcalino). Situazioni anomale di trend si hanno nei profili rimaneggiati per apporti antropici e particolarmente influenzati dall'apporto di aerosol (SV4) o per presenza di falda salina (4Occhi9).

L'andamento del pH è abbastanza correlato al quantitativo di calcare totale, esprimendo un coefficiente di correlazione di Pearson (R) pari a 0.6304, mentre appare inversamente correlato al tenore di carbonio organico ($R = -0.6105$).

Calcare totale. In quasi tutti i profili si osserva una diminuzione del calcare totale negli orizzonti superficiali legato all'effetto della decarbonatazione. Nelle zone dunali gli orizzonti superficiali presentano in buona parte valori debolmente calcarei (SV3, Vecchia4, 4Occhi8, SVN1), in profondità i valori aumentano sino ad assestarsi come moderatamente calcarei (Vecchia4, 4Occhi8) o molto calcarei (SV3, 4Occhi10, SVN1, PZ4). In zona interdunale il livello di calcare totale è generalmente inferiore sia negli orizzonti superficiali che in profondità. Buona parte dei profili di tali ambienti hanno i primi orizzonti non calcarei (Canala1, 4Occhi11, 2Giugno, PZ1, PZ3) o scarsamente calcarei e raramente in profondità si osservano orizzonti molto calcarei (Vecchia5, 4Occhi9, SVN3). Ovviamente non mancano eccezioni quali l'SV4 che per la sua natura di suolo antropizzato non presenta trend riconducibili a decarbonatazione.

Carbonio organico. La presenza di carbonio organico (C org.) risulta fortemente maggiore negli orizzonti più superficiali rispetto a quelli profondi. Generalmente il calo di C org. con la profondità è più repentino e marcato nelle sommità dunali rispetto alle bassure. Questo legato al fatto che i suoli delle zone rilevate sono più areati e l'ossidazione della sostanza organica è più veloce. Inoltre non si hanno fenomeni di accumulo in profondità legato a lisciviazione, ma solo in superficie per apporto dal soprassuolo. Generalmente i suoli delle sommità presentano un primo orizzonte con tenori di C org. da medi a molto elevati e

scendono a livelli molto scarsi in profondità. I suoli delle bassure presentano valori in superficie molto elevati con quantitativi sempre superiori agli ambienti sommitali, per scendere anch'essi a valori scarsi o molto scarsi in profondità.

In generale i suoli con i valori più elevati sono quelli ascrivibili ai Pirottolo. In questi pedotipi, i processi di mineralizzazione della materia organica sono rallentati a causa delle condizioni asfittiche e riducenti legate al ristagno idrico.

Il C org. presenta una discreta correlazione inversa col calcare totale ($R = -0.6054$) e molto debole col tenore di argilla ($R = 0.4357$).

Azoto. L'N determinato per mineralizzazione Kjeldahl appare in stretta correlazione col C. org. ($R = 0.9654$). I primi orizzonti ne sono molto più ricchi di quelli inferiori. E generalmente i suoli sulle sommità dunali presentano valori inferiori a quelli siti nelle bassure interdunali. Si passa da orizzonti superficiali ben dotati a eccessivamente dotati, ad orizzonti profondi poveri.

Rapporto C/N. Nonostante la stretta correlazione tra C org. e N si evidenziano notevoli variazioni di tale rapporto. La maggior parte degli orizzonti superficiali presentano rapporto C/N >10 e <20 , questo implica che la trasformazione della sostanza organica non avviene in modo ottimale. Nelle sommità dunali questo può essere dovuto all'elevato apporto di residui vegetali con alto rapporto C/N quali gli aghi di pino e in tal caso l'N presente non consente alla biomassa microbica di svolgere al pieno i processi di umificazione, ne tanto meno può dirsi disponibile per le piante. Negli ambienti di bassura questo è invece legato alle condizioni asfittiche e riducenti che non permettono l'adeguata umificazione della materia organica da parte della biomassa microbica. Negli orizzonti più profondi a volte il C/N si porta a valori anche di molto inferiori a 10, specialmente nei profili sabbiosi delle zone dunali. Questo implicherebbe una maggiore presenza di N disponibile per le piante in forma minerale. È necessario evidenziare comunque che negli orizzonti profondi i quantitativi che determinano il rapporto C/N sono assai bassi e pertanto maggiormente affetti da errore.

Da bibliografia (Duchaufour, 1965; Bonneau, 1981) risulta che humus con pH via via meno acidi, presentino rapporti C/N man mano tendenti a 10. La relazione tra C/N e pH sembra comunque avere un livello di correlazione negativo abbastanza debole ($R = -0.4319$).

CE 1:2.5, CE ps. I valori di CE si manifestano con un'elevata variabilità. Nei profili situati sulle sommità dunali si possono avere valori normali dalla superficie sino ad orizzonti profondi circa 1 m, più in profondità si possono avere valori simili, in presenza di falda con valori di CE altrettanto bassi, oppure la CE può aumentare più o meno repentinamente se la falda è salina raggiungendo valori da alti a estremamente alti (SV3, SV4, PZ4). L'influenza della salinità della falda si fa via via più vincolante con l'avvicinarsi al piano di campagna. Nei suoli delle zone interdunali si sono osservati due tipi di andamenti. Il primo consiste in un trend di aumento verso la superficie più o meno marcato, partendo da valori alti ed arrivando a valori molto alti (4Occhi9) o estremamente alti (Canala1), il medesimo andamento può comunque mantenersi su valori normali (SVN3) o leggermente alti (Vecchia6). Questi trend sono stati spesso osservati su campioni prelevati in periodo estivo, dove l'elevata temperatura e l'assenza di piogge favoriscono l'accumulo dei sali in superficie ad opera della risalita capillare. Vi sono invece trend di aumento verso la profondità all'interno di valori normali (Vecchia5) o passanti da valori leggermente alti ad estremamente alti (PZ3). Oltre agli esempi riportati vi sono diverse altre condizioni intermedie.

Per quanto riguarda le **acque di falda** (tabella 4.7), presentano valori di pH da neutro a moderatamente alcalino, nell'insieme dei campioni sembrano non esservi particolari correlazioni tra pH e profondità della falda da p.c. ($R = -0.2728$) né tra pH e CE ($R = -0.2488$). I valori di CE sono assai diversi tra loro, si passa da valori tipici di acque dolci (profili 2Giugno, SVN3) a valori prossimi all'acqua di mare (trivellata SVT5), non si osserva nessuna correlazione tra CE e profondità di falda, poiché sia nelle bassure che sulle sommità dunali può esservi falda con ampio range di CE. Si osserva comunque un generale trend di aumento della salinità attraverso la pineta da ovest verso est (figura. 4.14).

Riguardo allo stato ambientale, assunto lo stato quantitativo come appartenente alla classe C (sottopar. 3.2.2), si riportano in tabella 4.6 le classi dello stato chimico definite per ogni campione. Buona parte dei campioni presenta valori di CE e di cloruri ascrivibili ad uno stato chimico di classe 4 o di classe 0, ovvero il livello di tali parametri può implicare un "impatto antropico rilevante con caratteristiche

idrochimiche scadenti” oppure “un impatto antropico nullo o trascurabile ma con particolari facies idrochimiche naturali” che portano a tali valori. La rimanente parte dei campioni è ascrivibile ad uno stato chimico di classe 2 che implica un “impatto antropico ridotto e sostenibile sul lungo periodo e con buone caratteristiche idrochimiche”. Questi ultimi sono presenti soprattutto lungo la parte ovest della pineta.

Ai campioni di classe 4/0 viene attribuito uno stato ambientale definito “scadente” o “particolare”, mentre ai campioni di classe 2 lo stato ambientale attribuito è “scadente”.

Dalla maggior parte dei campioni si segnalano acque di falda che se usate a scopo irriguo comportano un rischio di salinizzazione molto alto, ovvero tali acque non sono utilizzabili in condizioni ordinarie e lo sono solo in circostanze eccezionali e per colture estremamente tolleranti alla salinità.

I rimanenti campioni segnalano acque che comportano un rischio di salinizzazione alto e solamente il profilo 2Giugno presenta acqua con rischio di salinizzazione medio. Queste acque possono essere usate solo per colture in diversa misura tolleranti la salinità e comunque assicurandosi che il drenaggio naturale o meccanico ne garantisca una buona percolazione.

Le acque di superficie (tabella 4.8) campionate presentano valori di pH dal neutro al fortemente alcalino e valori di CE ricoprenti un range molto vasto. Anche l'utilizzo di queste acque a scopo irriguo comportano rischi di salinizzazione molto alti.

Tabella 4.6. Sintesi dei dati chimico fisici ottenuti dalla caratterizzazione dei profili pedologici della Pineta di San Vitale.

Profilo	Sigla orizz.	Profondità	Sabbia 2-0.05 mm	Limo 0.05-0.002 mm	Argilla <0.002mm	Tessitura	Reaz. in H ₂ O	Calcare totale	C. org.	N. tot.	C/N	CE 1:2.5	CE ps (1)	Sali solubili (2)
		cm	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	USDA	pH	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹		dS·m ⁻¹	dS·m ⁻¹	meq·l ⁻¹
SV1	Ap	0-7/12	802	189	9	SF	7.3	88	11.9			0.16	0.93	12
	A	7/12-20/22	794	156	50	SF	7.4	20	27.9			0.21	1.19	15
	A/C	20/22-32	853	113	35	SF	7.6	68	6.2			0.15	0.87	11
	C1	32-42	907	74	19	S	7.8	105	2.5			0.12	0.71	9
	Cg1	42-52	905	82	13	S	7.8	106	1.1			0.27	1.61	20
	Cg2	52-80+	908	50	42	S	8.4	123	1.0			0.30	1.77	22
SV2	A	0-3	825	115	60	SF	7.6	38	77.6	7.8	10	0.83	4.80	60
	Ag	3-17	771	164	65	SF	8.4	59	22.2	2.2	10	0.65	3.70	46
	Cg	17-26+	808	132	60	SF	8.9	107	6.4	0.5	13	0.64	3.66	46
SV3	A1	0/7-10	905	53	42	S	7.0	29	59.5	3.9	15	0.21	1.24	15
	A2	7/10-14/20	916	42	42	S	7.4	75	12.0	0.9	14	0.13	0.75	9
	A/C	14/20-40	916	54	30	S	7.9	131	2.0	0.2	13	0.08	0.50	6
	C1	40-60	949	31	21	S	8.1	127	1.0	0.1	7	0.10	0.62	8
	C2	60-100	921	61	18	S	7.8	143	1.4	0.1	13	0.13	0.79	10
	C3	100-150	905	77	18	S	8.4	132	0.9	0.1	10	0.15	0.91	11
	C4	150-183	900	83	18	S	8.2	139	0.7	0.1	9	1.21	7.93	99
	C5	183-210+	900	78	23	S	7.2	148	0.9	0.1	16	1.43	8.47	106
Vecchia 4	A1	0-3/7	916	63	21	S	7.3	18	27.3	1.8	15	0.13	0.79	10
	A2	3/7-19	927	63	10	S	8.4	71	5.1	0.6	9	0.10	0.62	8
	A/C	19-51	959	41	0	S	8.7	95	2.0	0.2	10	0.10	0.62	8
	C1	51-78	959	41	0	S	8.7	91	1.2	0.1	14	0.09	0.52	7
	2C1	78-130	910	72	18	S	7.8	93	0.8	0.1	10	0.10	0.58	7
	2C2	130-170+	921	66	13	S	8.3	83	0.6	0.1	7	0.12	0.70	9
Vecchia 5	A1	0-4/7	841	128	31	SF	7.0	41	60.2	3.4	18	0.08	0.47	6
	A2	4/7-34	862	96	42	SF	7.9	78	5.9	0.8	8	0.12	0.72	9
	Cg	34-73+	938	52	10	S	9.2	132	1.2	0.2	7	0.27	1.60	20

1 : estrapolato mediante Monteleone (2003), eccetto per PZ1, PZ3, PZ4 e PZ7.

2 : estrapolato su indicazione del MiPAF (2000).

Tabella 4.6. Sintesi dei dati chimico fisici ottenuti dalla caratterizzazione dei profili pedologici della Pineta di San Vitale.

Profilo	Sigla oriz.	Profondità	Sabbia 2- 0.05 mm	Limo 0.05- 0.002 mm	Argilla <0.002mm	Tessitura	Reaz. in H ₂ O	Calcare totale	C. org.	N. tot.	C/N	CE 1:2.5	CE ps (1)	Sali solubili (2)
		cm	g'kg ⁻¹	g'kg ⁻¹	g'kg ⁻¹	USDA	pH	g'kg ⁻¹	g'kg ⁻¹	g'kg ⁻¹		dS'm ⁻¹	dS'm ⁻¹	meq'l ⁻¹
Vecchia 6	A	0-7/8	874	112	14	SF	7.2	22	50.0	4.2	12	0.55	3.29	41
	Cg	7/8-24+	896	85	19	S	7.5	54	7.9	0.9	9	0.42	2.47	31
Nova7	A1	0-4/7	927	63	10	S	7.0	8	46.0	3.1	15	0.30	1.80	22
	A2	4/7-21	916	73	10	S	7.5	20	15.6	1.4	11	0.16	0.96	12
	Cg1	21-53	927	52	21	S	8.3	17	2.3	0.1	16	0.14	0.81	10
	Cg2	53-72+	949	41	10	S	8.8	75	1.7	0.1	12	0.13	0.75	9
4occhi8	A	0-12	918	74	9	S	6.7	47	11.1	1.1	10	0.13	0.80	10
	A/C	12-30	945	47	9	S	7.3	79	1.8	0.3	6	0.08	0.49	6
	C1	30-56	950	41	9	S	7.7	85	0.5	0.2	3	0.07	0.44	6
	C2	56-75	961	31	9	S	7.9	96	0.9	0.1	8	0.08	0.45	6
	2C1	75-120	905	82	13	S	8.4	96	0.7	0.1	10	0.12	0.72	9
	2C2	120-150	900	83	18	S	7.7	86	0.5	0.1	6	0.10	0.58	7
	2C3	150-180+	894	83	23	S	8.2	98	2.0	0.1	14	0.17	1.00	12
4occhi9	A	0-5	880	106	14	S	8.5	54	24.1	2.6	9	1.79	10.69	134
	Cg1	5-13	939	42	19	S	8.5	88	4.9	0.6	8	1.03	6.10	76
	Cg2	13-34+	887	80	33	S	8.6	128	2.4	0.2	10	0.85	5.01	63
4occhi10	A1	0-5	864	117	19	S	6.2	3	32.3	2.0	16	0.21	1.26	16
	A2	5-25	901	74	24	S	7.7	77	6.4	0.5	13	0.11	0.68	8
	A/C	25-40	918	58	24	S	8.0	125	2.9	0.2	12	0.09	0.54	7
	C1	40-100	928	53	19	S	8.2	137	1.3	0.1	11	0.11	0.68	9
	Cg1	100-130	894	88	18	S	8.2	106	0.6	0.1	5	0.16	0.96	12
	Cg2	130-170+	940	39	21	S	8.2	111	0.5	0.1	7	0.18	1.08	13
4occhi11	A	0-10	874	112	14	S	6.7	3	42.1	2.6	16	0.18	1.05	13
	A/C	10-25	885	75	40	S	7.5	55	3.6	0.4	10	0.10	0.60	7
	Cg	25-62+	918	53	29	S	7.5	90	0.8	0.1	5	0.10	0.62	8

1 : estrapolato mediante Monteleone (2003), eccetto per PZ1, PZ3, PZ4 e PZ7.

2 : estrapolato su indicazione del MiPAF (2000).

Profilo	Sigla oriz.	Profondità	Sabbia 2-0.05 mm	Limo 0.05-0.002 mm	Argilla <0.002mm	Tessitura	Reaz. in H ₂ O	Calcare totale	C. org.	N. tot.	C/N	CE 1:2.5	CE ps (1)	Sali solubili (2)
		cm	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	USDA	pH	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹		dS·m ⁻¹	dS·m ⁻¹	meq·l ⁻¹
2Giugno	A1	0 - 4/5	835	95	70	SF	5.0	3	36.1	2.2	16	0.26	1.47	18
	A2	4/5 - 37	824	106	70	SF	8.0	11	6.3	0.5	13	0.17	0.96	12
	C1	37 - 75	867	84	49	S	8.4	51	0.2	0.1	2	0.10	0.56	7
	Cg1	75 - 90+	851	100	49	S	8.8	58	1.0	0.1	9	0.13	0.73	9
Canala1	Ag	0 - 7	826	75	99	SF	6.5	5	64.7	6.4	10	4.24	23.74	297
	A/Cg	7 - 15	760	137	104	FS	7.2	1	26.6	2.0	13	1.10	6.12	76
	Cg	15 - 31	803	128	70	SF	8.0	2	11.5	0.9	12	0.81	4.60	58
SVN1	A1	0-6	854	98	48	SF	6.9	41	46.6	3.0	16	0.35	2.06	26
	A2	6-20	875	76	48	S	7.8	66	11.8	1.0	12	0.20	1.16	14
	A/C	20-60	913	59	28	S	8.3	147	1.3	0.2	9	0.09	0.54	7
	C1	60-83	918	54	28	S	8.6	167	0.6	0.2	4	0.07	0.44	5
	2C1	83-106	935	43	22	S	8.6	156	0.3	0.2	1	0.07	0.43	5
	2C2	106-130	940	38	22	S	8.6	129	0.2	0.1	3	0.07	0.41	5
	2C3	130-160	902	70	28	S	8.8	150	0.0	0.1	1	0.08	0.49	6
	3C1	160-185+	891	65	43	S	8.8	134	0.1	0.1	2	0.08	0.46	6
SVN2	A1	0-8	875	71	54	S	7.4	17	24.4	1.5	17	0.12	0.67	8
	A2	8-32	897	70	33	S	7.7	52	4.6	0.4	12	0.09	0.51	6
	C1	32-60	926	46	28	S	8.5	114	1.1	0.1	8	0.07	0.42	5
	Cg1	60-100	940	32	28	S	8.9	107	0.4	0.1	4	0.06	0.36	4
	Cg2	100-121+	918	48	33	S	8.8	135	0.8	0.1	6	0.08	0.46	6
SVN3	Ag	0-9	832	109	59	SF	7.8	34	22.3	1.5	15	0.22	1.29	16
	A/Cg	9-37	854	98	49	SF	8.1	42	6.7	0.7	10	0.12	0.68	8
	Cg	37-55+	843	93	64	SF	8.7	149	1.9	0.2	10	0.10	0.60	7
SV4	A	0-9	763	173	64	SF	8.9	196	6.0			0.13	0.75	9
	A/C	9-30	765	171	64	SF	8.3	216	4.1			0.10	0.59	7
	C	30-80	873	94	33	S	8.7	188	1.1			0.09	0.54	7
	2C	80-105	841	122	38	SF	8.5	185	0.1			0.15	0.88	11
	2C	105-140	785	162	53	SF	8.1	186	4.0			1.12	6.42	80
	4C	140-150+	850	113	38	SF	8.3	182	1.9			1.29	7.53	94

1 : estrapolato mediante Monteleone (2003), eccetto per PZ1, PZ3, PZ4 e PZ7.

2 : estrapolato su indicazione del MiPAF (2000).

Continuazione tabella 4.6. Sintesi dei dati chimico fisici ottenuti dalla caratterizzazione dei profili pedologici della Pineta di San Vitale.

Profilo	Sigla oriz.	Profondità	Sabbia 2-0.05 mm	Limo 0.05-0.002 mm	Argilla <0.002mm	Tessitura	Reaz. in H ₂ O	Calcare totale	C. org.	N. tot.	C/N	CE 1:2.5	CE ps (1)	Sali solubili (2)
		cm	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	USDA	pH	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹		dS·m ⁻¹	dS·m ⁻¹	meq l ⁻¹
PZ1	A	0-10/13	812	150	38	SF	7.8	0	42.7	4.0	11	1.04	2.76	34
	A/C	10/13- 18/20	807	146	48	SF	8.7	15	12.4	1.1	11	1.16	5.30	66
	Cg1	18/20-24	826	136	38	SF	8.1	7	7.5	0.5	16	0.86	4.58	57
	Cg2	24-45+	852	109	40	SF	8.4	27	6.0	0.3	18	0.78	3.99	50
PZ3	A	0-6/8	768	173	59	SF	7.3	0	107.7	10.9	10	1.29	2.32	29
	A/C	6/8-17	798	138	65	SF	7.6	39	15.4	1.4	11	2.37	10.24	128
	Cg1	17-28	819	121	60	SF	7.6	74	6.2	0.4	14	2.19	11.53	144
	Cg2	28-44+	841	111	48	SF	7.7	85	3.9	0.3	14	3.59	19.05	238
PZ4	A1	0-10	823	141	36	SF	6.7	0	36.4	2.3	16	0.27	0.65	8
	A2	10-35	895	83	23	S	7.9	115	4.0	1.1	4	0.21	0.57	7
	C1	35-73	936	40	25	S	8.2	150	0.1	0.2	1	0.28	1.49	19
	C2	73-106	913	61	26	S	8.7	154	0.9	0.2	5	0.68	4.07	51
	Cg1	106-127	871	101	28	S	9.0	134	1.1	0.2	7	1.03	6.22	78
	Cg2	127-162+	916	56	28	S	8.4	152	1.7	0.1	22	3.55	21.74	272
PZ7	A1	0-10/12	819	131	50	SF	7.5	45	33.4	1.8	19	0.38	0.89	11
	A/C	10/12-25	851	116	33	SF	7.8	63	10.3	0.8	13	0.31	0.91	11
	C1	25-55	895	76	30	S	8.3	147	2.9	0.2	16	0.43	2.13	27
	Cg1	55-70	893	78	30	S	8.7	147	1.7	0.2	9	0.46	2.53	32
	Cg2	70-91+	922	61	18	S	8.6	134	2.9	0.2	16	0.76	4.09	51
SV30	A	0-7	700	208	92	FS	6.5	0	127.1			2.96	16.41	84
	A/C	7-16	776	153	71	SF	7.5	41	37.3			1.50	8.48	42
	Cg1	16-35	846	115	39	SF	8.3	97	5.8			0.72	4.17	20
	Cg2	35-50	895	76	29	S	9.0	112	1.1			0.41	2.45	12
	Cg3	50-75+	889	72	39	S	9.0	127	1.1			0.43	2.50	12

1 : estrapolato mediante Monteleone (2003), eccetto per PZ1, PZ3, PZ4 e PZ7.

2 : estrapolato su indicazione del MiPAF (2000).

Tabella 4.7. Analisi chimiche sulle acque di falda di Pineta San Vitale

Campione	Profondità da p.c.	Reazione	CE	Salinità (1)	Cloruri	Stato chimico (2)	Rischio salinizzazione uso irriguo (3)
	cm	pH	dS ^m ⁻¹	g ^l ⁻¹	mmol _(c) l ⁻¹		
Acque di falda dei profili							
SV2	-26	7.5	8.03	3.93	54.6	Classe 4/0	Molto alto
Vecchia5	-68	7.3	7.32	3.56	47.6	Classe 4/0	Molto alto
Vecchia6	-18	7.4	8.54	4.20	67.8	Classe 4/0	Molto alto
Nova7	-67	7.2	2.31	1.05	14.9	Classe 4/0	Molto alto
4occhi9	-26	7.9	21.80	11.54	183.2	Classe 4/0	Molto alto
Canala1	-15	7.4	6.94	3.36	33.8	Classe 4/0	Molto alto
2Giugno	-90	8.0	0.57	0.23	1.6	Classe 2	Medio
SVN3	-55	7.0	0.80	0.33	0.6	Classe 2	Alto
SV1	-52	7.6	3.32	1.41		Classe 4/0	Molto alto
4occhi10	-130	7.9	1.79	0.75		Classe 2	Alto
SV3	-183	7.8	19.28	9.55		Classe 4/0	Molto alto
PZ1	-23	7.5	3.14	1.31	20.2	Classe 4/0	Molto alto
PZ3	-31	6.8	19.09	9.00	171.2	Classe 4/0	Molto alto
PZ4	-148	7.3	21.92	10.45	198.5	Classe 4/0	Molto alto
PZ7	-79	7.2	4.47	1.90	30.0	Classe 4/0	Molto alto
Acque di falda delle trivellate							
SVT1	-128	7.2	1.87	0.93	10.4	Classe 2	Alto
SVT2	-45	7.6	14.30	8.12	135.8	Classe 4/0	Molto alto
SVT3	-113	7.0	16.97	9.79	62.4	Classe 4/0	Molto alto
SVT4	-89	7.0	36.64	22.74	417.6	Classe 4/0	Molto alto
SVT5	-50	7.2	49.04	31.46	537.9	Classe 4/0	Molto alto
SVT6	-138	8.4	1.17	0.57	6.0	Classe 2	Alto
SVT7	-11	6.9	1.03	0.49	2.9	Classe 2	Alto
SVT8	-98	7.7	1.62	0.79	8.0	Classe 2	Alto
SVT9	-45	7.8	2.65	1.32	10.1	Classe 4/0	Molto alto
SVT10	-60	7.6	14.08	7.84	147.1	Classe 4/0	Molto alto
SVT11	-47	7.6	12.95	7.16	141.2	Classe 4/0	Molto alto
SVT12	-79	7.6	10.30	5.60	92.5	Classe 4/0	Molto alto
SVT13	-77	7.3	1.33	0.64	4.6	Classe 2	Alto
SVT14	-30	7.1	1.45	0.70	3.4	Classe 2	Alto
SVT15	-129	7.8	2.04	1.00	10.7	Classe 2	Alto
SVT16	-35	7.7	32.72	20.07	370.8	Classe 4/0	Molto alto
SVT17	-129	7.4	8.16	4.44	68.1	Classe 4/0	Molto alto
SVT18	-127	7.3	4.51	2.36	27.8	Classe 4/0	Molto alto
SVT20	-73	7.2	12.23	6.74	96.4	Classe 4/0	Molto alto
SVT23	-55	7.7	4.58	2.02	33.1	Classe 4/0	Molto alto
SVT24	-120	8.0	3.00	1.30	21.4	Classe 4/0	Molto alto
SVT25	-28	7.4	14.98	7.18	148.1	Classe 4/0	Molto alto
SVT27	-66	7.6	15.92	7.68	138.2	Classe 4/0	Molto alto
SVT28	-82	7.2	14.80	7.09	137.2	Classe 4/0	Molto alto
SVT29	-87	8.0	9.43	4.37	79.5	Classe 4/0	Molto alto
SVT31	-115	7.9	3.06	1.29	20.9	Classe 2	Molto alto
SVT32	-70	8.3	0.86	0.34	5.0	Classe 2	Alto

1 : UNESCO, 1983

3 : US Salinity Laboratory Staff, 1954; MiPAF, 2001

2 : Dlgs 152/2006 - Dlgs 152/99, All. 1 Tab. 20

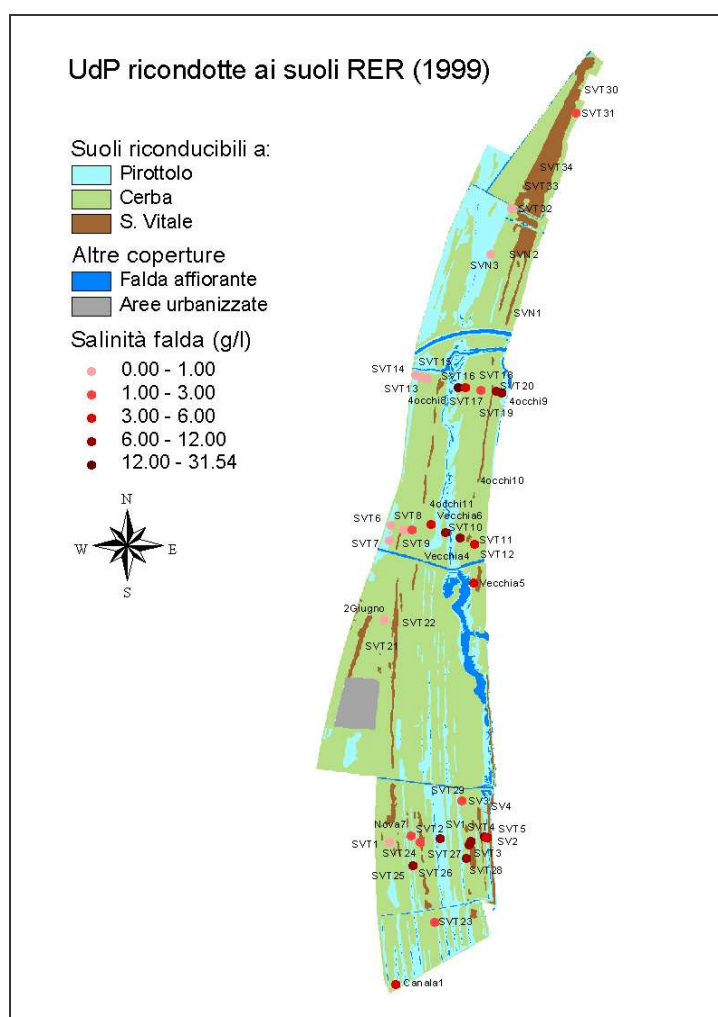


Figura 4.14. UdP ricondotte ai suoli della RER (1999) con salinità delle acque di falda campionate durante l'indagine pedologica.

Tabella 4.8. Analisi chimiche sulle acque superficiali di Pineta San Vitale

Campione	Reazione	CE	Salinità (1)	Cloruri	Stato chimico (2)	Rischio salinizzazione per uso irriguo (3)
	pH	dS·m ⁻¹	g·l ⁻¹	mmol ₍₋₎ ·l ⁻¹		
Acque superficiali						
Stagno loc. 4Occhi, pirottolo	7.6	9.50	4.71	72.6	Classe 4/0	Molto alto
Buca Cavedone, vicino Vecchia 5	7.4	10.20	5.08	83.0	Classe 4/0	Molto alto
Canale vicino SV1	7.3	14.22	7.26	116.3	Classe 4/0	Molto alto
Taglio Baiona	7.2	36.71	20.42	314.2	Classe 4/0	Molto alto
Taglio Baiona lato mare	6.9	16.97	9.60	138.2	Classe 4/0	Molto alto
Taglio Baiona lato terra	7.0	3.22	1.62	21.9	Classe 4/0	Molto alto
Canale Fiumetto	7.9	3.73	1.63	18.9	Classe 4/0	Molto alto
Vicino a SVT32	8.6	1.08	0.43	6.5	Classe 2	Alto

1 : UNESCO, 1983

2 : Dlgs 152/2006 - Dlgs 152/99, All. 1 Tab. 20

3 : US Salinity Laboratory Staff, 1954; MiPAF, 2001

Dal confronto dei risultati di laboratorio con le schede pedologiche (Allegato 1) sono stati meglio definiti gli orizzonti per tutti i profili pedologici. A sua volta si è proceduto alla classificazione di questi come riportato in tabella 4.9.

In generale tutta l'area è stata classificata come "Litorale costiero". Nella tabella sono riportate le tre situazioni morfologiche tipiche dei pedotipi osservati, assieme alla vegetazione presente.

Per ogni profilo campionato è stata riportata la classificazione secondo la Keys to Soil Taxonomy, 10th edition (SSS, 2006) e della World reference base for soil resources (IUSS, 2006).

Per quanto riguarda la classificazione del Soil Survey Staff (2006), 10 profili presenti in ambiente di bassura interdunale sono stati classificati nel grande gruppo degli Psammaquents, mentre i rimanenti, situati in zone progressivamente meglio drenate ricadono negli Ustipsamments. Alcuni Psammaquents situati in ambienti particolarmente salini presentano caratteristiche sodiche a livello di sottogruppo, altri sono ascrivibili ai mollici. In generale per tutti gli Psammaquents si è considerata la possibilità di avere condizioni sodiche per estrapolazione da quelli la cui classificazione è comprovata da un maggior set analitico. Per gli Ustipsamments, il PZ7 presenta condizioni aquiche, ed il 2 giugno oxyaquiche. Quelli di ambienti maggiormente drenati non sono riconducibili a nessun sottogruppo particolare. Tutti i profili si presentano a mineralogia mista, con un regime di temperatura mesico ed, a parte alcuni, tutti calcarei.

La classificazione secondo il Word Reference Base è stata eseguita solamente per i profili PZ1, PZ3, PZ4 e PZ7 per la quale trattazione si rimanda al paragrafo 5.4.

I suoli presenti sono stati poi ricondotti alle sottounità pedologiche San Vitale, Cerba e Pirottolo e per i profili non classificati secondo il WRB è stata attribuita la classificazione FAO (1998) utilizzata dalla RER (www.gias.net).

Come osservabile dalla tabella 4.9, diversi suoli, risultano ricondotti a tali sottounità pur presentando differente collocazione tassonomica rispetto a quanto indicato dalla RER (1994). Tali differenze sono state osservate solamente a seguito di analisi più approfondite (cap. 5), non realizzate durante la caratterizzazione

pedologica complessiva. Tale caratterizzazione risulta infatti finalizzata alla stesura di una cartografia dei suoli sulla base di pedotipi già menzionati per tali ambienti. Per tale motivo si è preferito considerare tali suoli come possibili variazioni all'interno di quelli di già comprovata esistenza, segnalandone comunque la presenza in attesa di una eventuale collocazione più idonea.

Le osservazioni in campo associate all'individuazione delle tipologie di suolo all'interno degli ambiti omogenei hanno permesso di estendere il dato pedologico puntuale alle intere Unità di Paesaggio. Queste sono state ricondotte a alle Unità Pedologiche di S. Vitale, Cerba e Pirottolo, permettendo di sintetizzare una Carta dei Suoli di prima approssimazione. Le indagini speditive condotte in seconda battuta e l'apertura di altri profili hanno permesso di cartografare meglio diverse zone, specialmente a nord del Lamone e nella porzione meridionale, migliorando le chiavi di interpretazione dei livelli informativi disponibili.

Tabella 4.9. Classificazione dei profili campionati nella Pineta di San Vitale.

AMBIENTE	MORFOLOGIA	PROFONDITA' DI FALDA (cm)	VEGETAZIONE PREVALENTE	PROFILO	CLASSIFICAZIONE					NOME E SIGLA SUOLO (RER, 1995)
					SSS, 2006		IUSS, 2006			
					SOTTOGRUPPO	FAMIGLIA	PREFISSO (*)	RSG (*)	SUFFISSO	
Litorale costiero	Bassure interdunali	0 - 50	Fraxinus oxycarpa, Populus alba, Phragmites australis, Salicornia friuticosa	Canala1	! (Sodic) Mollic Psammaquents	Mixed, mesic	Calcaric	Arenosols	(Calcaric, sodic, arenic)	Pirottolo
				Vecchia6	! (Sodic) Mollic Psammaquents	Mixed, calcareous, mesic	Calcaric	Arenosols		
				PZ1	Sodic Psammaquents	Mixed, mesic	Haplic	Gleysols		
				SV2	(Sodic) Typic Psammaquents	Mixed, calcareous, mesic	Calcaric	Arenosols		
				4Occhi9	(Sodic) Typic Psammaquents	Mixed, calcareous, mesic	Calcaric	Arenosols	(Calcaric, sodic, arenic)	
				PZ3	Sodic Psammaquents	Mixed, calcareous, mesic	Haplic	Gleysols		
				SVN3	(Sodic) Typic Psammaquents	Mixed, calcareous, mesic	Calcaric	Arenosols		
				SV1	(Sodic) Typic Psammaquents	Mixed, calcareous, mesic	Calcaric	Arenosols		
				4Occhi11	! (Sodic) Mollic Psammaquents	Mixed, calcareous, mesic	Calcaric	Arenosols	(Calcaric, sodic, arenic)	
				Nova7	! (Sodic) Mollic Psammaquents	Mixed, mesic	Calcaric	Arenosols		
				Vecchia5	! (Sodic) Mollic Psammaquents	Mixed, calcareous, mesic	Calcaric	Arenosols		

! : L'appartenenza al sottogruppo dei Sodic non è supportata da un adeguato monitoraggio ma potrebbe essere possibile. * : eccetto i profili PZ1, PZ3, PZ4 e PZ7 gli altri sono classificati come riportato da RER (www.gias.net).

Continuazione tabella 4.9. Classificazione dei profili campionati nella Pineta di San Vitale.

AMBIENTE	MORFOLOGIA	PROFONDITA' DI FALDA (cm)	VEGETAZIONE PREVALENTE	PROFILO	CLASSIFICAZIONE					NOME E SIGLA SUOLO (RER, 1995)
					SSS, 2006		IUSS, 2006			
					SOTTOGRUPPO	FAMIGLIA	PREFISSO (*)	RSG (*)	SUFFISSO	
Litorale costiero	Piane interdunali, antiche dune spianate, spiazzate	50 - 150	<i>Quercus robur, Quercus pubescens, Fraxinus oxycarpa, Populus alba, Pinus pinea</i> (deperiente), <i>Pinuspinaster, Ruscus aculeatus, Rhamnus catharticus, Prunus spinosa</i>	PZ7	Aquic Ustipsamments	Mixed, calcareous, mesic	Endogleyic	Arenosols	(Calcaric, hyposalic)	Cerba
				2Giugno	Oxyaquic Ustipsamments	Mixed, mesic	Calcaric	Arenosols	(Calcaric, hyposalic)	
				SVN2		Mixed, calcareous, mesic				
	Sommità dunali	> 150	<i>Quercus ilex, Pinus pinea, pinus pinaster, Asparagus acutifolius, Ruscus aculeatus</i>	4Occhi10	! (Oxyaquic) Typic Ustipsamments	Mixed, calcareous, mesic	Haplic	Arenosols	(Calcaric, hyposalic) (Calcaric)	S. Vitale
				PZ4	Typic Ustipsamments	Mixed, calcareous, mesic	Haplic	Arenosols		
				SVN1		Mixed, calcareous, mesic	Haplic	Arenosols		
				SV4		Mixed, calcareous, mesic	Haplic	Arenosols		
				4Occhi8		Mixed, calcareous, mesic	Haplic	Arenosols		
				SV3		Mixed, calcareous, mesic	Haplic	Arenosols		
				Vecchia4		Mixed, calcareous, mesic	Haplic	Arenosols		

! : L'appartenenza al sottogruppo dei Sodici non è supportata da un adeguato monitoraggio ma potrebbe essere possibile. * : eccetto i profili PZ1, PZ3, PZ4 e PZ7 gli altri sono classificati come riportato da RER (www.gias.net).

4.1.2.1. Carta dei Suoli di Pineta S. Vitale

In figura 4.15 viene mostrata la Carta dei Suoli in stesura finale. Il livello informativo è stato restituito su supporto cartaceo alla scala 1:20000, la cui immagine è presente in allegato.

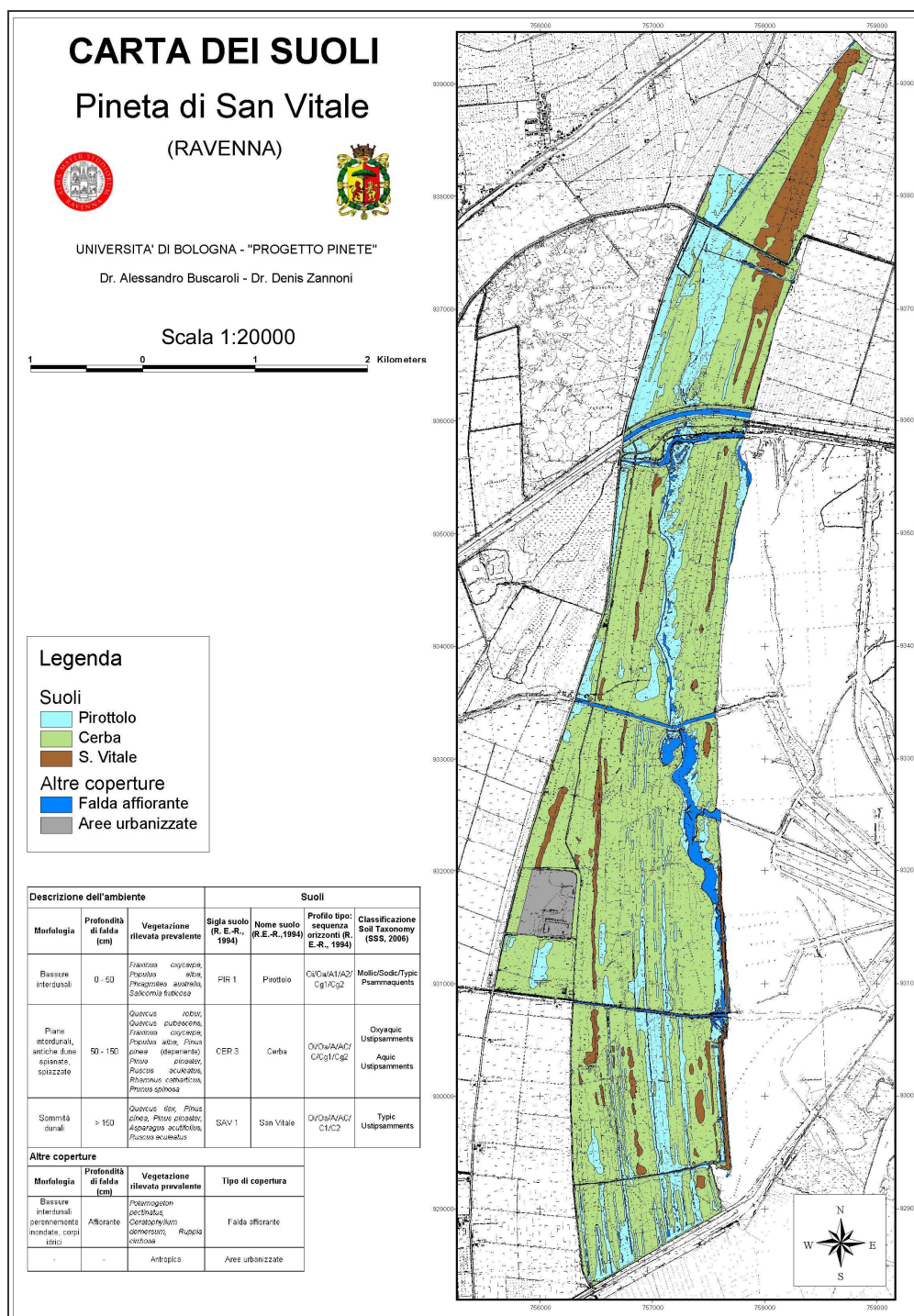


Figura 4.15. Carta dei Suoli della Pineta di San Vitale (Buscaroli e Zannoni, 2006) modificato.

Come già accennato, tale livello tematico cerca in primo luogo di definire una distribuzione spaziale dei pedotipi indicati dalla Carta dei Suoli RER (1999).

Dalla cartografia sviluppata si è potuto calcolare l'estensione delle tre unità pedologiche indicate dalla RER (www.gias.net) e delle altre coperture presenti nel territorio studiato. Le estensioni delle coperture sono indicate in tabella 4.10. e visualizzate nel grafico di figura 4.16.

Tabella 4.10. Distribuzione dei suoli e delle altre coperture, presenti in Pineta di San Vitale.

UdP	Area (ha)	Area (% su tot.)	Area (% su suoli)
Aree urbanizzate	26.390	2.0	
Falda affiorante	52.060	4.0	
Pirottolo	260.597	19.9	21.1
Cerba	881.890	67.2	71.4
S. Vitale	91.946	7.0	7.5
Totale superficie	1312.883	100.0	
Totale sup. suoli	1234.433	100.0	

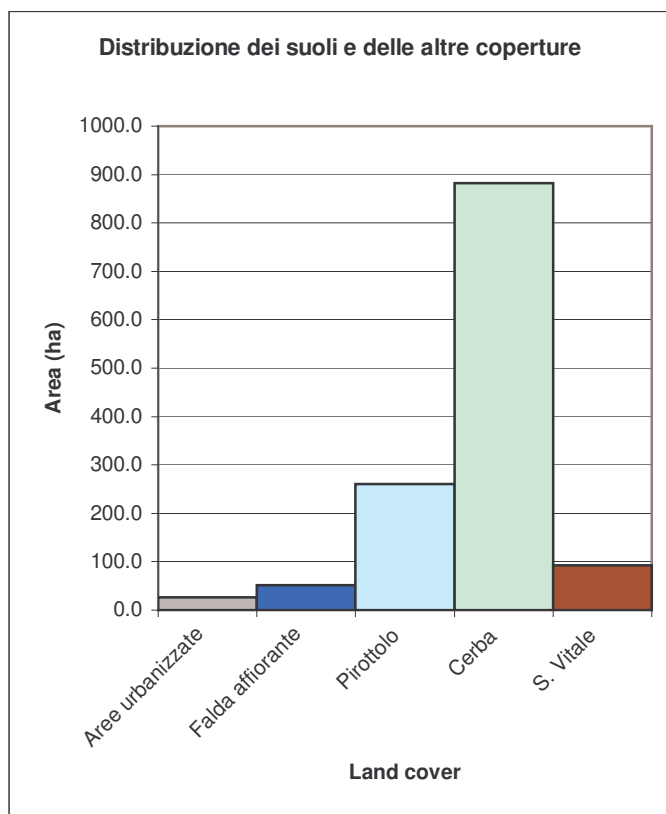


Figura 4.16. Distribuzione dei suoli e delle altre coperture, presenti in Pineta San Vitale.

Dalla tabella 4.10 si osserva che la superficie delle tre unità pedologiche si estende per circa il 94% dell'area studiata. All'interno della pineta i suoli sensibilmente preponderanti sono i Cerba che si estendono per 881.9 ha e rappresentano oltre il 71% dei suoli. Seguono i Pirottolo, estesi per 260.6 ha e presenti per il 21% della superficie pedologica. Ultimi per estensione sono i suoli San Vitale che rappresentano solo 7.5% dei suoli e si estendono per 91.9 ha.

Dalla cartografia ottenuta si osserva anzitutto che i Cerba risultano spazialmente distribuiti su gran parte della pineta, mentre si osserva la presenza dei Pirottolo specialmente nella zona meridionale, nel Bardello e nella bassa che ne porta il nome. I San Vitale sono invece limitati a zone ridotte e allungate, lungo le sommità dei cordoni dunali. La loro maggior presenza è nella propaggine nord della pineta.

Rispetto al modello di distribuzione indicato dalla RER sul sito www.gias.net, sembrerebbe quindi che i San Vitale, indicati come “moderatamente presenti”, abbiano invece una entità di distribuzione decisamente più ridotta.

4.1.2.2. Elaborazione dei dati analitici di Pineta San Vitale

Per la Pineta di San Vitale si è scelto di rappresentare l'andamento medio di alcune proprietà chimico-fisiche a seconda delle tre tipologie di suolo indicate dalla RER (1994), alle quali i profili sono stati ricondotti. Per fare ciò i profili sono stati suddivisi in tre fasce di profondità a partire dal p.c.: 0-10 cm, 10-40 cm e 40-80 cm. Su queste fasce di profondità, per i pedotipi San Vitale, Cerba e Pirottolo, sono stati calcolati i valori medi ponderati di pH, calcare totale, carbonio organico e CE 1:2.5.

Per quanto riguarda i pedotipi San Vitale e Cerba, le tre classi di profondità sono grossomodo da ricondursi alla profondità media rispettivamente dell'orizzonte organominerale A, dell'orizzonte di transizione A/C e del substrato C. Nei Pirottolo, per mancanza di dati oltre una certa profondità sono state considerate solo le due classi più superficiali.

Occorre precisare che i suoli Cerba, presenti in minor numero rispetto agli altri pedotipi, possono fornire dati medi meno rappresentativi per alcune proprietà.

Dalle elaborazioni riportate nei grafici si possono trarre alcune considerazioni.

I valori di pH (figura 5.1) presentano nelle tre tipologie di suolo un aumento con la profondità che nel complesso sembra più marcato nei suoli Cerba rispetto agli altri pedotipi. Generalmente si passa da valori neutri o debolmente alcalini nei primi 10 cm a valori moderatamente alcalini tra 40 e 80 cm per i San Vitale e sulla soglia del fortemente alcalino per i Cerba. Nei suoli San Vitale e Pirottolo si hanno le maggiori variabilità rispetto ai valori medi.

Per tutti e tre i pedotipi si osserva la progressiva diminuzione di calcare totale dalla fascia più profonda a quella più superficiale (figura 5.2). I suoli San Vitale si presentano da molto calcarei in profondità a moderatamente calcarei nei primi 10 cm, ma per i Cerba e i Pirottolo i livelli si abbassano a debolmente calcarei. I livelli medi di calcare a parità di profondità sono maggiori nei San Vitale e minori nei Cerba anziché nei Pirottolo. La giustificazione a tale andamento è probabilmente da ricercarsi nella bassa rappresentatività dei valori relativi ai suoli Cerba. La variabilità dei valori è molto elevata soprattutto per i primi 10 cm.

Il carbonio organico presenta un rapido trend di diminuzione passando dalla prima alla terza fascia di profondità. A parità di profondità i tenori più alti di C. org. si hanno nei Pirottolo (molto elevati nei primi 10 cm). La variabilità dei valori è molto elevata eccetto per i suoli Cerba.

La CE 1:2.5 è decrescente dalla superficie verso il basso in particolar modo nei Pirottolo. A parità di fascia di profondità i Pirottolo presentano valori da 3 a 4 ½ volte superiori rispetto agli altri pedotipi, e sono gli unici comunque ad avere valori leggermente alti. Le variabilità attorno ai valori medi sono abbastanza alte nei San Vitale e nei Cerba, ma lo sono in modo decisamente maggiore nei Pirottolo, specie nei primi 10 cm.

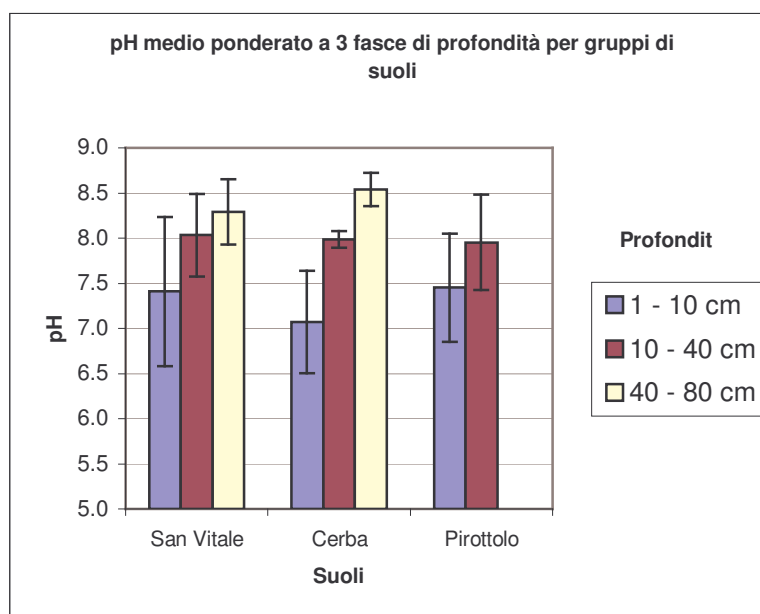


Figura 5.1. pH medio, ponderato a tre classi di profondità per i tre pedotipi di Pineta S. Vitale

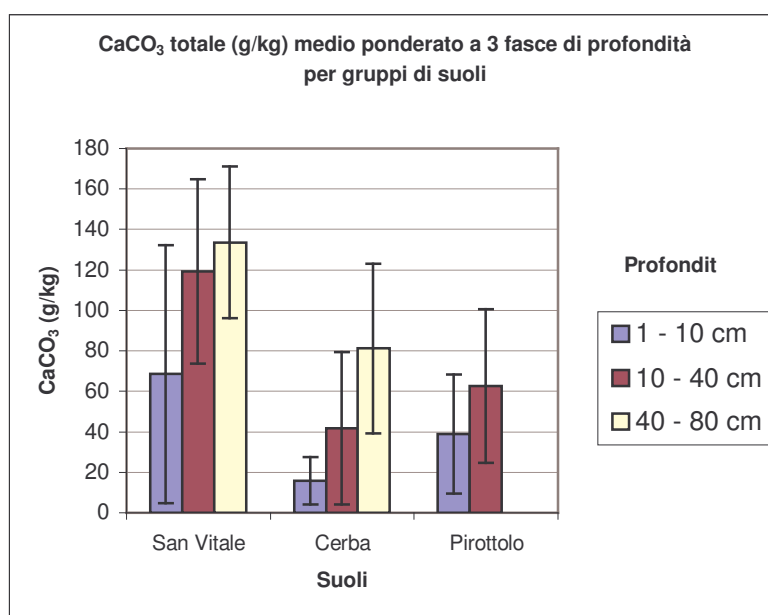


Figura 5.2. Calcare totale medio, ponderato a tre classi di profondità per i tre pedotipi di Pineta S. Vitale.

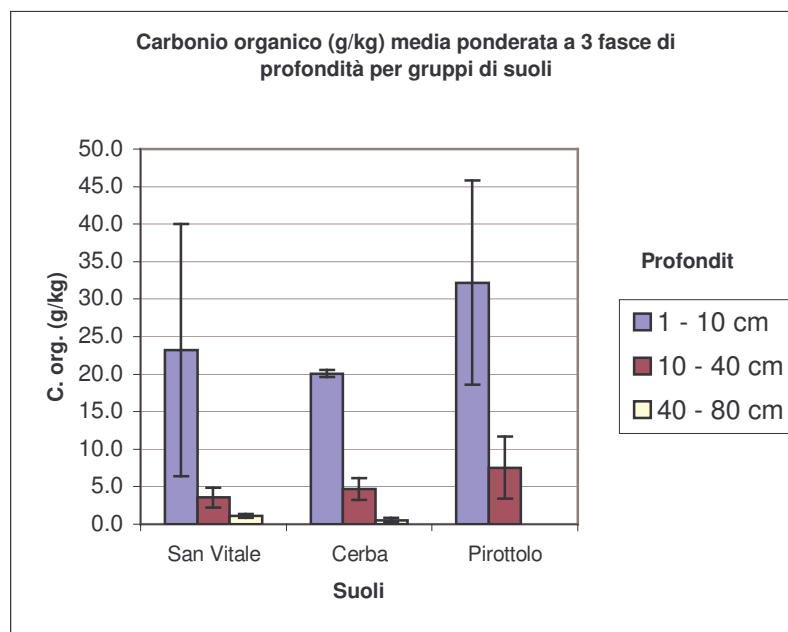


Figura 5.3. Carbonio organico medio, ponderato a tre classi di profondità per i tre pedotipi di Pineta S. Vitale.

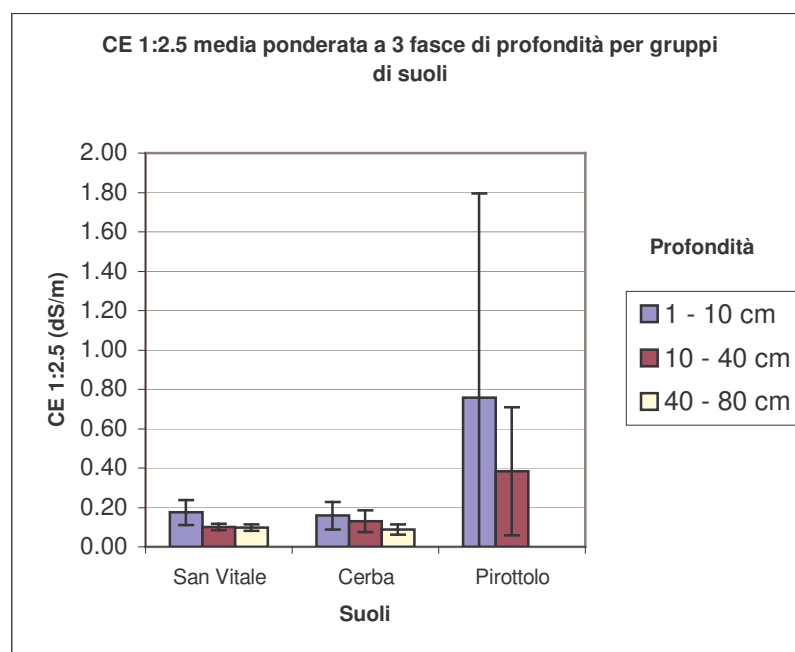


Figura 5.4. CE media, ponderato a tre classi di profondità per i tre pedotipi di Pineta S. Vitale (Buscaroli et al., 2007 modificato).

4.2. AREA BOSCATI DI BELLOCCHIO

4.2.1. Indagine ambientale area boscata di Bellocchio

Relativamente all'area di Bellocchio, non sono state trovate molte informazioni pregresse di carattere pedologico. Sandri (1954) accenna alcuni dati su un profilo in località Primaro, ma è possibile che questo sia stato rilevato sulla duna costiera a sud della foce del Reno. Più dettagliati in bibliografia sono alcuni profili aperti nel 1968 (Sandri e Casalicchio, 1970) sulle sommità dunali e in ambiente di bassura su querceto. Dalla sintesi di questi ultimi dati (tabella 4.11) si osservano suoli San Vitale e Cerba rispettivamente debolmente e moderatamente alcalini, moderatamente calcarei e con scarso contenuto di carbonio organico (MiPAF, 2006).

Tabella 4.11. Valori medi di pH, carbonati totali e sostanza organica, elaborati dai parametri di Sandri e Casalicchio (1970).

Suoli	pH	Carbonati (%)	C. org. (%)
S. Vitale	7.68	5.55	0.83
Cerba	8.31	8.62	0.79
Pirottolo	-	-	-

Nella Carta dei Suoli di Pianura della RER (www.gias.net) l'area di studio, come già accennato (par. 2.4), ricade all'interno delle delineazioni n. 18 e n. 200. all'interno della prima delineazione viene descritta la presenza di suoli Cerba e San Vitale, mentre nella seconda sono indicati solamente suoli Cerba.

Per l'area boscata di Bellocchio i livelli informativi trattabili mediante GIS utilizzati per l'indagine ambientale sono stati i seguenti:

- Quote altimetriche da CTR relative al 1978.
- DEM delle isocinetiche del comune di Ravenna relativi agli intervalli temporali 1977-82, 1982-86, 1986-98, 1998-02.
- Carta della vegetazione aggiornata al 1994 (Corticelli et al., 1999).
- Carta geologica in scala 1:50000.
- Immagini telerilevate da satellite Quick Bird 2003.

- Carta Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:10000.
- Ortofoto storiche, volo 1954-55.
- Cartografia storica IGM e antecedente.

La prima cosa che si è fatto è stato l'aggiornamento delle quote altimetriche dell'area al 2002. Per far questo al DEM delle quote altimetriche del 1978 sono stati sommati algebricamente i DEM delle variazioni di quota dei diversi intervalli temporali, mediante l'estensione di ArcView 3.2a "Extract Z value from TIN into point theme" gestibile in ambiente 3D Analyst. Il confronto tra le quote altimetriche del 1978 (figura 4.17) con l'elaborato DEM aggiornato al 2002 (figura 4.18 e 4.19) ha evidenziato come previsto l'abbassamento generale di tutta la zona, portando ad un aumento delle aree al di sotto del l.m.m. presenti specialmente nella porzione meridionale.

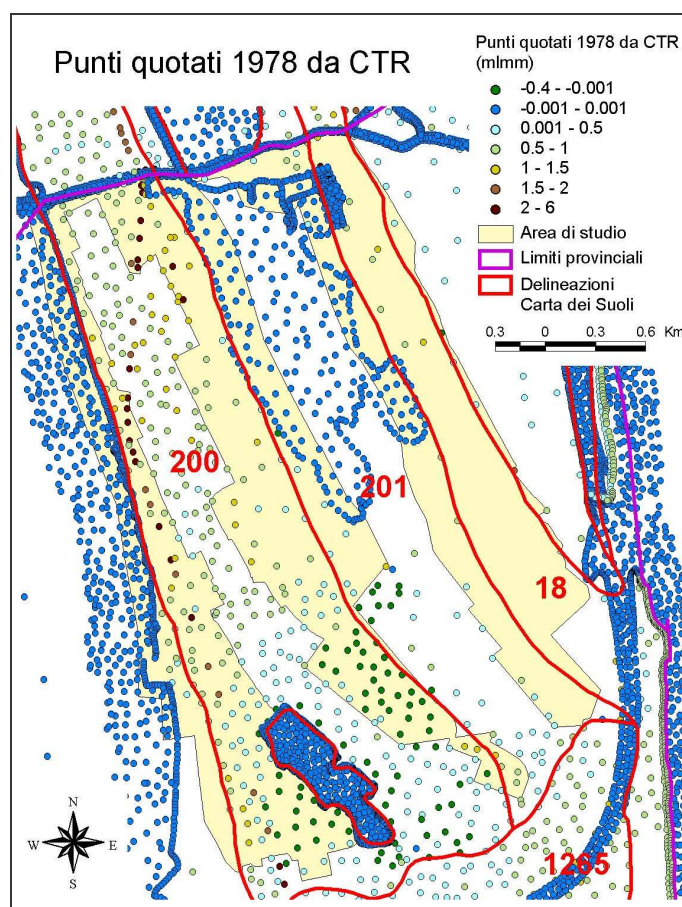


Figura 4.17. Area di studio di Bellocchio e punti quotati da CTR del 1978.

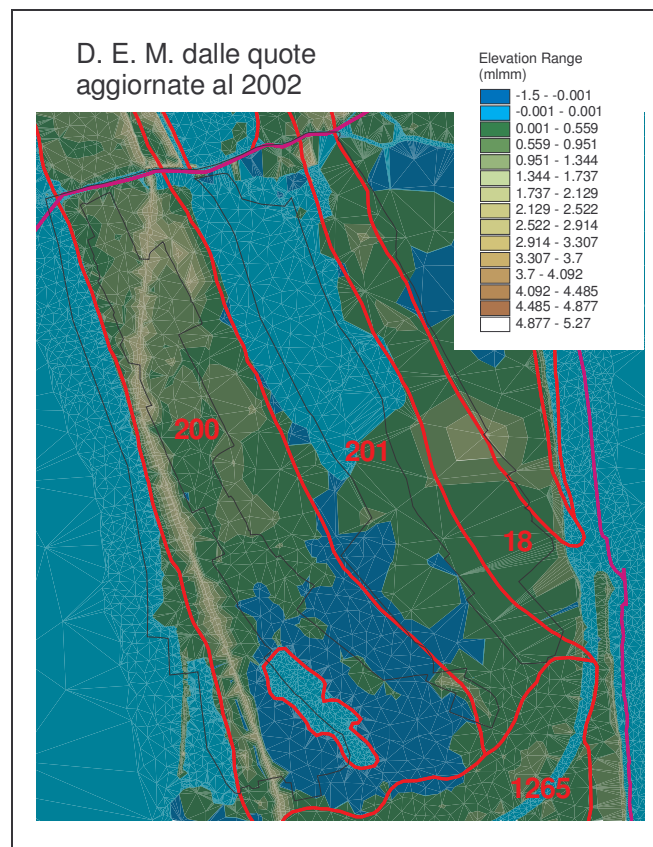


Figura. 4.18. Altimetrie aggiornate al 2002.

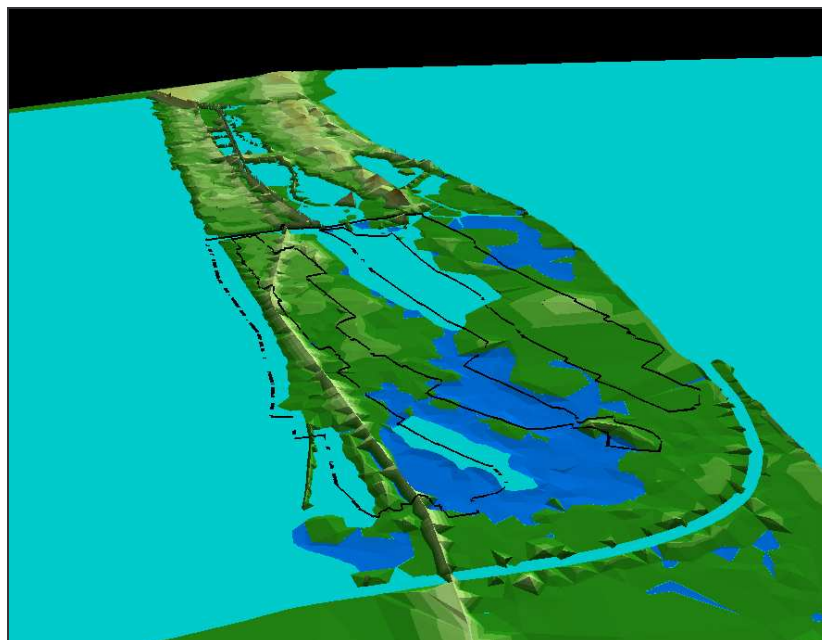


Figura 4.19. Visione prospettica del DEM altimetrico aggiornato al 2002, con zona di studio delimitata in nero.

Non disponendo di un livello informativo circa i livelli piezometrici della zona, la profondità della falda freatica da p.c. è stata stimata in via approssimativa e solo per le zone sopra il l.m.m., assumendo come quota della tavola d'acqua lo zero altimetrico. Il livello informativo ottenuto è stato riclassificato in tre fasce di profondità riconducibili ai tre pedotipi, sulle indicazioni riportate dalla RER (www.gias.net) e con le medesime modalità descritte per la Pineta di S. Vitale.

Si è quindi proceduto con la riclassificazione della Carta della vegetazione facendo ricondurre ogni tipo vegetazionale alla possibile presenza di un uno o più pedotipi.

La carta della vegetazione le altimetrie riclassificate sono state sovrapposte ed il livello informativo ottenuto è stato a sua volta riclassificato dando, come per San Vitale, maggior attendibilità alle informazioni estrapolabili dalla carta della vegetazione. Di fondamentale aiuto si sono poi rilevate le informazioni estrapolabili dall'interpretazione delle immagini Quick Bird 2003, soprattutto per quanto riguarda la delimitazione degli ambiti omogenei nelle aree al di sotto del l.m.m. Le ortofoto storiche sono tornate utili per individuare elementi riconducibili alla morfologia dunale in aree un tempo non occupate da vegetazione arborea. Non in ultimo sono risultate utili anche diverse foto scattate da aereo per individuare la morfologia della fascia boscata tra le Vene e l'Ancona.

Dall'elaborazione GIS dei livelli informativi sono stati individuati gli ambiti omogenei rappresentati in figura 4.20 dalla Carta delle Unità di Paesaggio.

In tale elaborato si è preferito lasciare indicato le zone incerte ovvero quelle non chiaramente riconducibili ad un unico pedotipo per poter disporre di una cartografia facilmente correggibile e passibile di modifiche anche durante le osservazioni in campo dell'indagine pedologica.

L'abbondanza del materiale disponibile e l'assenza di vegetazione arborea in molte zone di bassura interdunale ha reso maggiormente agevole l'individuazione di certi ambiti pedologici in particolare quelli riconducibili ai suoli Pirottolo, fornendo da subito un'indicazione più accurata delle UdP rispetto ad altri siti quali Pineta S. Vitale.

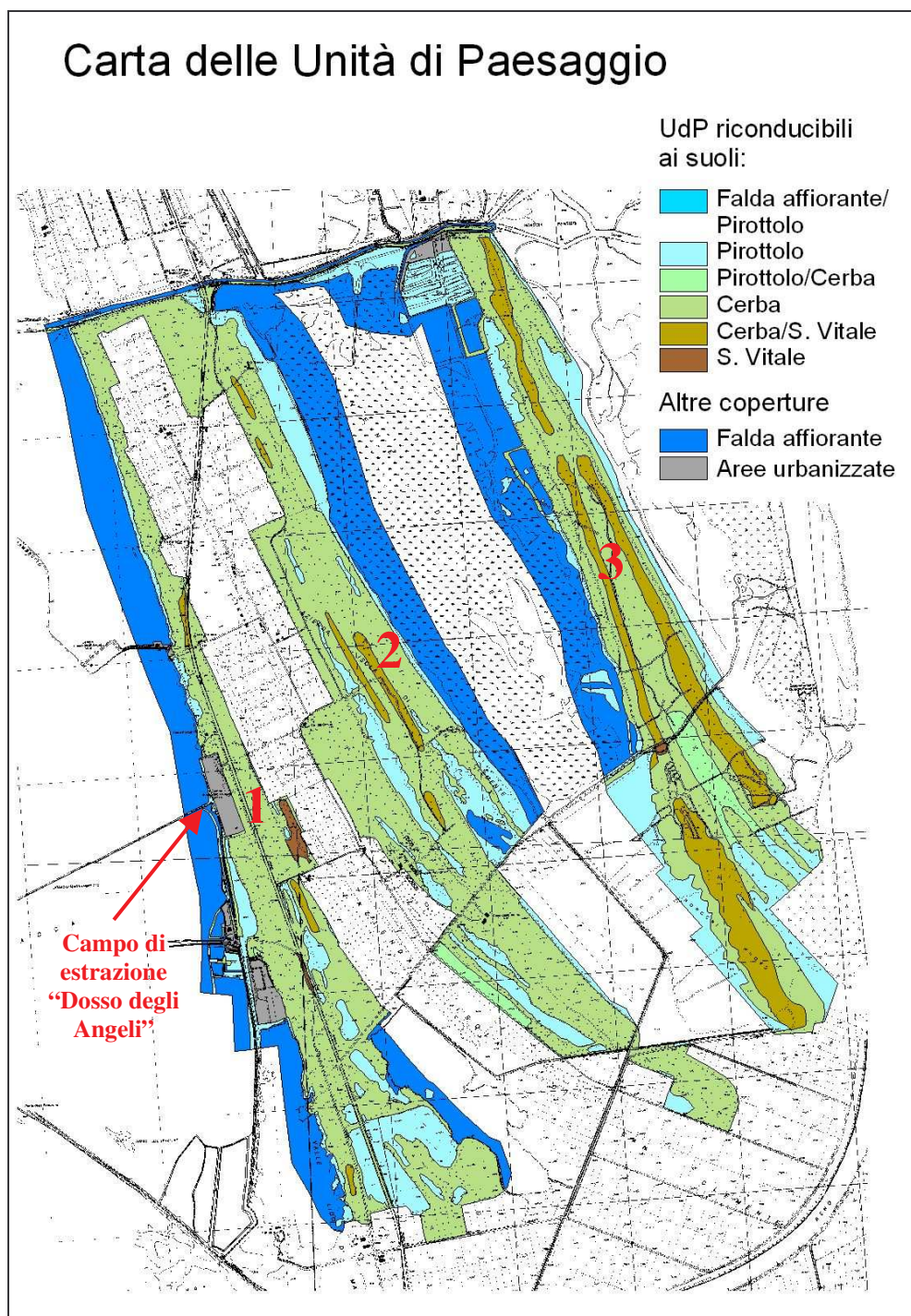


Figura 4.20. Carta delle Unità di Paesaggio dell'area di Bellocchio, con indicazione dei tre gruppi di allineamenti dunali: 1) X-XII sec., 2) XIV-XVI sec., 3) XVII-XVIII sec..

4.2.2. Indagine pedologica area boscata di Bellocchio

L'indagine pedologica si è svolta per questioni logistiche in un numero limitato di uscite in campo. Pertanto non sono stati effettuati rilevamenti speditivi mediante

trivellate, ma con l'aiuto della carta delle UdP e delle osservazioni morfologico vegetazionali, sono state determinate in campo le aree riconducibili alla presenza dei tre pedotipi ed aperti i profili in zone ritenute significative.

Sono stati aperti, campionati e descritti 12 profili e una trivellata (figura 4.21) comprensivi di acqua di falda dove raggiunta. La presenza delle numerose carraie

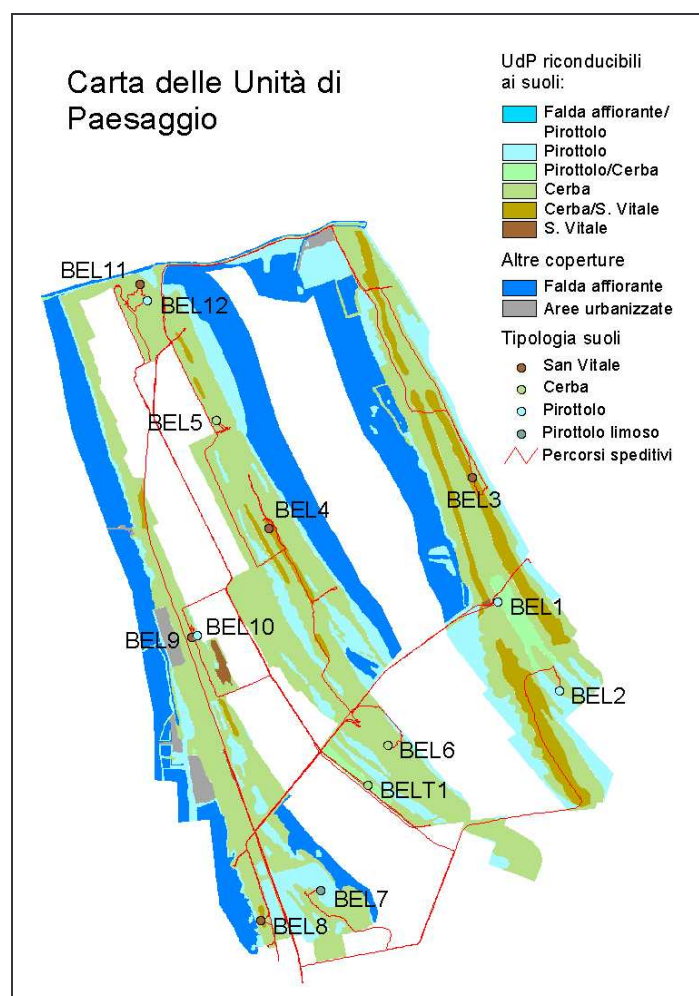


Figura 4.21. Campagna di rilevamento pedologico nell'area boscata di Bellocchio, con suoli osservati nei profili aperti.

agricole all'interno dalla tenuta Orsi Mangelli (azienda che comprende buona parte dell'area di studio), ha agevolato notevolmente l'insieme delle osservazioni in campo.

I risultati delle analisi chimico-fisiche sui campioni di suolo e di acqua sono riportate in tabella 4.12 e 4.13. Di seguito vengono commentati i diversi parametri analizzati.

Tessitura. I suoli presentano per la maggior parte, lungo il profilo, tessitura “sabbiosa”, dove la percentuale di sabbia mediamente supera il 90%. Vi sono comunque diverse eccezioni come i BEL1, 2, 4, 10 e T1 dove i primi due orizzonti superficiali presentano tessitura sabbioso-franca. Nel BEL7 l’orizzonte compreso tra 11 e 21 cm riporta percentuali di limo superiori alla media (13.1%). L’area dove è situato questo profilo, si presenta semipianeggiante e ricoperta esclusivamente da vegetazione erbacea palustre. Probabilmente è un’area bonificata e il quantitativo superiore di limo presente è stato provocato da apporti fluviali in eventi di esondazione.

Reazione – pH. I valori di pH variano da debolmente alcalino a molto fortemente alcalino. Solitamente si osserva un aumento dei valori dal primo orizzonte verso gli orizzonti profondi. Questo gradiente può essere marcato, con differenze sino a 1 punto e mezzo di pH tra primo e ultimo orizzonte, o molto lieve. L’abbassamento del pH nei primi orizzonti è maggiore dove questi sono più ricchi in carbonio organico, ad esempio nelle bassure. Solo nel BELT1 si ha un inversione del gradiente in profondità, forse relazionabile con la presenza di materia organica torbificata.

Calcare totale. I profili che presentano il quantitativo superiore di calcare totale sono quelli campionati all’interno della delineazione 18, sul gruppo di allineamenti dunali più recenti (3) (BEL1, 2 e 3).

Gli orizzonti di questi profili presentano valori da moderatamente calcarei a fortemente calcarei (nel BEL1). Con buona parte degli orizzonti molto calcarei.

Questi valori così elevati all’interno dei suoli della pineta più recente, dimostrano che il processo di decarbonatazione è ancora allo stadio iniziale; solo per il profilo BEL1 con il primo orizzonte moderatamente calcareo, può ritenersi già avviato.

I profili situati sul gruppo di cordoni dunali intermedio (2) presentano valori di calcare totale più bassi e nella maggior parte di essi (eccetto BEL11 e BELT1) è riscontrabile una diminuzione dei carbonati negli orizzonti superficiali. Si

osservano orizzonti superficiali debolmente calcarei (BEL4, 6 e 12) o moderatamente calcarei (BEL5, 11, T1) ed orizzonti più profondi moderatamente calcarei o molto calcarei. Non si osservano in modo univoco variazioni legate alla morfologia dei siti di campionamento.

I profili campionati nell'allineamento di cordoni più antico (1) mostrano orizzonti superficiali debolmente calcarei o scarsamente calcarei fino scendere ad aliquote inferiori ai $5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (non calcarei) relativamente al BEL10. In profondità sono generalmente moderatamente calcarei.

In conclusione si osserva che il processo di decarbonatazione è avvenuto maggiormente nei suoli dei cordoni più antichi e meno nei più recenti.

Carbonio organico. Il carbonio organico misurato molto variabile e generalmente decrescente dall'orizzonte più superficiale verso quelli più profondi. Valori del primo orizzonte molto elevati si osservano nel BEL1, BEL10 e BEL12. Valori di C. org. elevati vi sono nel BEL7. Valori scarsi o molto scarsi si osservano invece nei primi orizzonti dei rimanenti profili. Negli orizzonti profondi i tenori di C. org sono sempre molto scarsi e scendono spesso sotto $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ tranne che nei profili siti nelle bassure. Nei BEL7 e BELT1 si osserva un aumento del C. org. a valori medi in alcuni orizzonti profondi, probabilmente riconducibile alla presenza di torbe o legato ad aumenti delle frazioni granulomentiche fini (BEL7) (formazione di colloid argillo-umici).

In generale i suoli con i valori più elevati sono quelli posizionati nelle bassure, ascrivibili pertanto ai Pirottolo.

Il tenore di C org. sembra essere, seppur debolmente, correlato alla percentuale di argilla ($R = 0.4980$) e inversamente correlato al pH ($R = -0.5553$).

Conduttività elettrica. Dalle determinazioni dirette della CE 1:2.5 risulta che tutti gli orizzonti di tutti i profili presentano livelli di salinità normali, ovvero possono dirsi non salini. Si osservano tuttavia aumenti della CE 1:2.5 negli orizzonti profondi del BELT1. Questi ultimi orizzonti, sulla base dell'estrapolazione di Monteleone (2003) per la stima della CE ps, risulterebbero come debolmente salini.

In base alle informazioni riportate da Sbaraglia e Lucci (1995) per la CE ps, gli effetti della salinità sulle colture sono trascurabili. Solamente per gli orizzonti

profondi del BELT1, i valori di CE ps possono provocare un “accrescimento limitato delle colture molto sensibili”.

Riguardo alle analisi sulle acque (tabella 4.13) si è definito lo stato di qualità delle acque sotterranee come indicato nel Dlgs n. 152/99. Anche in questo caso si è assunto uno stato quantitativo di classe C e dagli abbinamenti tabellari con lo stato chimico relativo alla CE lo stato di qualità ambientale risulta “scadente” o “particolare” per i campioni BEL10 e Bacino Lido Magnavacca e “scadente “ per tutti gli altri. Dal momento che le fasce boscate sono alternate o contigue a zone agricole è importante notare come l’utilizzo irriguo di tali acque comporti un rischio di salinizzazione per i suoli che varia da medio a molto alto a seconda dei siti campionati. Le acque dei profili BEL10 e 12 (rischio molto alto) non possono essere utilizzate in condizioni ordinarie. Le acque presenti negli altri profili (rischio medio e alto) possono essere utilizzate solo per colture in diversa misura tolleranti la salinità e comunque assicurandosi che il drenaggio naturale o meccanico ne garantisca una buona percolazione.

I valori di pH sono da neutri a moderatamente alcalini.

I valori di salinità delle acque di falda, inferiori rispetto a S. Vitale, presentano valori un po’ più alti nelle bassure interdunali nella parte interna verso il Canale Bellocchio o le Valli di Comacchio (figura 4.22). Ovvero nelle zone di avvicinamento dell’interfaccia acqua dolce – salata per intrusione salina dal basso o per infiltrazione laterale (Bishop, 2005).

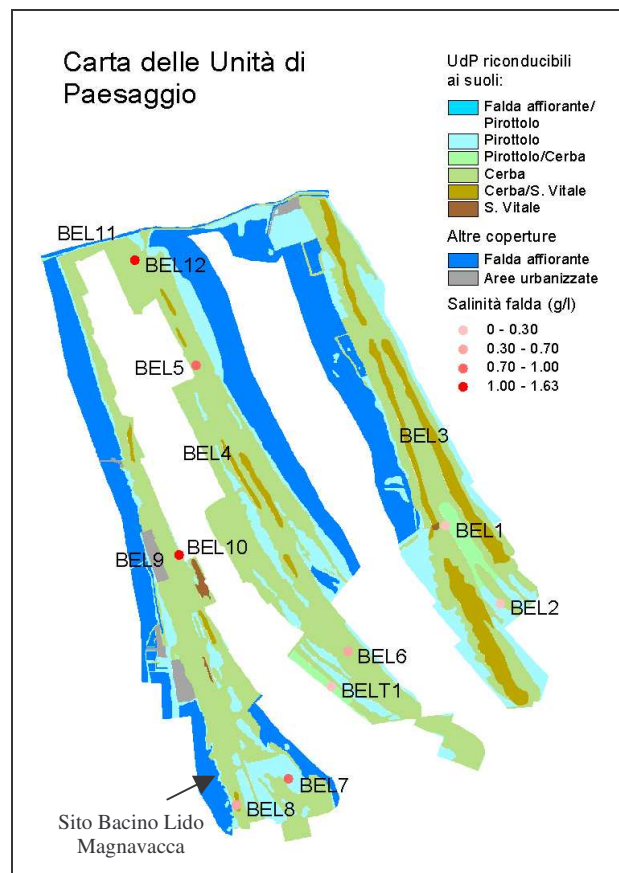


Figura 4.22. Carta delle UdP con salinità dei campioni di falda freatica alla base dei profili.

Tabella 4.12. Sintesi dei dati chimico fisici ottenuti dalla caratterizzazione dei profili pedologici dell'area boscata di Bellocchio.

Profilo	Sigla oriz.	Profondità	Sabbia 2-0.05 mm	Limo 0.05-0.002 mm	Argilla <0.002mm	Tessitura	Reaz. in H ₂ O	Calcare totale	C. org.	CE 1:2.5	CE ps (1)	Sali solubili (2)
		cm	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	USDA	pH	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	dS·m ⁻¹	dS·m ⁻¹	meq·l ⁻¹
BEL1	A	0-10	826	101	73	SF	7.6	91	41.6	0.21	1.21	15
	A/Cg	10-20	873	68	59	SF	7.8	190	5.1	0.09	0.55	7
	Cg1	20-39	900	43	58	S	7.9	204	1.5	0.07	0.39	5
	Cg2	39-68+	896	55	49	S	8.3	240	1.5	0.08	0.49	6
BEL2	A	0-8	824	99	77	SF	8.2	190	7.1	0.12	0.68	8
	A/Cg	8-22	814	107	80	SF	8.4	194	3.8	0.10	0.56	7
	Cg1	22-45	911	30	59	S	9.0	191	0.9	0.08	0.44	6
	Cg2	45-60+	927	30	43	S	9.2	183	0.3	0.07	0.41	5
BEL3	A	0-12	900	41	59	S	8.4	218	2.4	0.08	0.45	6
	A/C	12-36	916	26	57	S	8.4	217	1.0	0.07	0.43	5
	C11	36-60	933	21	47	S	8.8	180	0.3	0.07	0.43	5
	C12	60-81+	918	25	57	S	8.4	155	0.5	0.08	0.49	6
BEL4	A	0-10	871	63	66	SF	8.2	45	6.3	0.11	0.64	8
	A/C	10-37	871	63	66	SF	8.3	68	2.2	0.09	0.50	6
	C11	37-60	925	30	45	S	8.5	87	0.6	0.06	0.38	5
	C12	60-105	882	73	45	S	8.8	76	0.2	0.07	0.38	5
	C21	105-150	936	21	43	S	8.9	74	0.1	0.07	0.38	5
	Cg	150-180+	932	28	40	S	8.8	85	0.2	0.07	0.40	5
BEL5	A	0-12	877	68	55	SF	8.1	67	7.7	0.13	0.78	10
	A/C	12-36	914	35	50	S	8.3	98	1.8	0.10	0.57	7
	Cg	36-50	902	43	56	S	8.4	131	0.8	0.12	0.69	9
	2Cg1	50-69	909	44	47	S	8.6	103	0.5	0.11	0.65	8
	2Cg2	69-80+	913	35	52	S	8.4	104	0.5	0.19	1.13	14
BEL6	A	0-10	888	48	64	S	7.7	42	3.4	0.15	0.84	11
	A/C	10-35	871	59	69	SF	8.2	43	4.1	0.12	0.67	8
	Cg1	35-60	895	51	54	S	8.4	65	2.0	0.09	0.52	6
	Cg2	60-105	920	33	47	S	8.8	36	0.7	0.06	0.38	5
	2Cg	105-140+	897	51	52	S	8.9	103	0.6	0.10	0.59	7

1 : estrapolato mediante Monteleone (2003).

2 : estrapolato su indicazione del MiPAF (2000).

Continuazione tabella 4.12. Sintesi dei dati chimico fisici ottenuti dalla caratterizzazione dei profili pedologici dell'area boscata di Bellocchio.

Profilo	Sigla oriz.	Profondità	Sabbia 2-0.05 mm	Limo 0.05-0.002 mm	Argilla <0.002mm	Tessitura	Reaz. in H ₂ O	Calcare totale	C. org.	CE 1:2.5	CE ps (1)	Sali solubili (2)
		cm	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	USDA	pH	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	dS·m ⁻¹	dS·m ⁻¹	meq·l ⁻¹
BEL7	A	0-3	867	84	49	SF	7.9	13	16.0	0.09	0.50	6
	A/Cg	3-11	876	70	54	S	8.5	22	5.1	0.08	0.44	5
	2C	11-21	769	131	101	FS	8.3	31	13.0	0.12	0.66	8
	3C	21-40+	895	48	57	S	9.0	63	1.3	0.07	0.42	5
BEL8	A	0-20	898	50	52	S	7.7	47	4.5	0.09	0.51	6
	A/C	20-50	932	21	47	S	7.9	66	1.3	0.07	0.41	5
	C11	50-60	932	26	42	S	7.7	56	0.8	0.06	0.38	5
	C12	60-93	898	50	52	S	8.3	27	1.7	0.07	0.44	5
	C13	93-120	930	28	41	S	8.8	48	0.6	0.06	0.38	5
	2C	120-175+	921	32	47	S	8.9	70	0.2	0.16	0.93	12
BEL9	A	0-28	883	68	49	SF	7.4	9	6.0	0.10	0.60	8
	A/C	28-50	910	46	43	S	8.8	77	1.1	0.07	0.42	5
	C1	50-78	926	35	38	S	8.9	98	0.6	0.11	0.65	8
	C21	78-93	937	30	33	S	9.1	97	0.2	0.07	0.41	5
	C22	93-130	927	35	38	S	9.1	86	0.4	0.07	0.42	5
	C3	130-165	916	51	33	S	8.9	82	0.9	0.10	0.59	7
BEL10	A	0-9	857	75	68	SF	7.2	4	18.3	0.13	0.77	10
	A/Cg	9-21	864	68	68	SF	7.8	0	5.5	0.14	0.81	10
	Cg1	21-43	886	57	57	S	8.3	30	2.6	0.19	1.11	14
	Cg2	43-63+	862	75	63	SF	8.8	77	2.1	0.34	1.94	24
BEL11	A	0-12	902	43	56	S	8.6	74	3.4	0.09	0.52	7
	A/C	12-40	914	35	50	S	8.9	89	1.2	0.09	0.52	7
	C11	40-73	921	33	45	S	9.0	81	0.8	0.07	0.43	5
	C12	73-120	923	32	45	S	9.1	80	1.2	0.08	0.47	6
	C21	120-155	898	52	50	S	9.1	82	0.5	0.08	0.45	6
	C22	155-187+	898	46	56	S	9.0	63	0.7	0.08	0.47	6

1 : estrapolato mediante Monteleone (2003).

2 : estrapolato su indicazione del MiPAF (2000).

Continuazione tabella 4.12. Sintesi dei dati chimico fisici ottenuti dalla caratterizzazione dei profili pedologici dell'area boscata di Bellocchio.

Profilo	Sigla oriz.	Profondità	Sabbia 2-0.05 mm	Limo 0.05-0.002 mm	Argilla <0.002mm	Tessitura	Reaz. in H ₂ O	Calcare totale	C. org.	CE 1:2.5	CE ps (1)	Sali solubili (2)
		cm	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	USDA	pH	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	dS·m ⁻¹	dS·m ⁻¹	meq·l ⁻¹
BEL12	A	0-7	858	68	73	SF	7.8	36	27.9	0.22	1.25	16
	A/Cg	7-18	882	55	63	S	8.1	88	6.7	0.13	0.75	9
	Cg1	18-36	880	68	52	S	8.5	95	2.2	0.14	0.81	10
	Cg2	36-53+	911	37	52	S	8.6	75	0.9	0.29	1.67	21
BELT1	A	0-25	832	90	78	SF	8.4	70	6.1	0.09	0.52	7
	A/Cg	25-64	875	57	68	SF	8.9	94	1.6	0.08	0.44	5
	Cg11	64-80	877	68	56	S	9.0	102	0.9	0.08	0.45	6
	Cg12	80-100	864	68	68	SF	9.1	107	0.7	0.10	0.57	7
	2Cg	100-140	859	79	63	SF	8.4	78	11.2	0.38	2.18	27
	3Cg	140-150+	891	57	52	S	8.5	83	2.7	0.39	2.26	28

1 : estrapolato mediante Monteleone (2003).

2 : estrapolato su indicazione del MiPAF (2000).

Tabella 4.13. Analisi chimiche sulle acque dell'area di Bellocchio

Campione	Profondità da p.c.	Reazione	CE	Salinità (1)	Stato chimico (2)	Rischio salinizzazione per uso irriguo (3)
	cm	pH	dS·m ⁻¹	g·l ⁻¹		
Acque di falda dei profili						
BEL1	-65	8.1	0.60	0.27	Classe 2	Medio
BEL2	-58	7.1	0.64	0.29	Classe 2	Medio
BEL5	-68	7.2	1.93	0.91	Classe 2	Alto
BEL6	-131	8.3	0.74	0.34	Classe 2	Medio
BEL7	-40	8.0	1.57	0.73	Classe 2	Alto
BEL8	-160	8.0	1.35	0.61	Classe 2	Alto
BEL10	-58	7.4	3.38	1.63	Classe 4/0	Molto alto
BEL12	-36	7.9	2.31	1.09	Classe 2	Molto alto
Acque di falda della trivellata						
BELT1	-64	7.7	0.51	0.22	Classe 2	Medio
Acque superficiali						
Bacino Lido Magnavacca		6.9	28.15	15.63	Classe 4/0	Molto alto

1 : UNESCO, 1983

2 : Dlgs 152/2006 - Dlgs 152/99, All. 1 Tab. 20

3 : US Salinity Laboratory Staff, 1954; MiPAF, 2001

Dal confronto dei risultati di laboratorio con le schede pedologiche dei profili (Allegato 1), sono stati identificati i pedotipi e classificati come indicato in tabella 4.14.

In generale tutta l'area è stata classificata come "Litorale costiero". Nella tabella sono riportate le tre situazioni morfologiche tipiche dei pedotipi osservati, oltre alla vegetazione presente.

Per ogni profilo campionato (raggruppati in base alla classificazione della RER, 1995 rispettivamente in 5 Pirottolo, 5 San Vitale e 2 Cerba) è stata riportata la classificazione secondo la Keys to Soil Taxonomy, 10th edition (SSS, 2006) e della World reference base for soil resources (IUSS, 2006).

Tabella 4.14. Classificazione dei profili campionati nell'area boscata di Bellocchio.

AMBIENTE	MORFOLOGIA	PROFONDITA' DI FALDA	VEGETAZIONE PREVALENTE	PROFILO	CLASSIFICAZIONE					NOME E SIGLA SUOLO (RER, 1995)	
					SSS, 2006		IUSS, 2006				
					SOTTOGRUPPO	FAMIGLIA	PREFISSO	RSG	SUFFISSO		
Litorale costiero	Bassure interdunali	0 - 50	<i>Fraxinus oxycarpa</i> , <i>Populus alba</i> , <i>Phragmites australis</i> , <i>Salicornia fruticosa</i>	BEL 1	Typic Psammaquents	Mixed, calcareous, mesic				(Calcaric, Greyic)	PIROTTOLO (PIR 1)
				BEL 2		Mixed, calcareous, mesic				(Calcaric)	
				BEL 7		Mixed, mesic				(Calcaric)	
				BEL 10		Mixed, mesic				(Calcaric, Greyic)	
				BEL 12		Mixed, calcareous, mesic				(Calcaric, Greyic)	
	Piane interdunali, antiche dune spianate, spiazzate	50 - 150	<i>Quercus robur</i> , <i>Quercus pubescens</i> , <i>Fraxinus oxycarpa</i> , <i>Populus alba</i> , <i>Pinus pinea</i> (deperiente), <i>Pinus pinaster</i> , <i>Ruscus aculeatus</i> , <i>Rhamnus catharticus</i> , <i>Prunus spinosa</i>	BEL 5	Aquic Ustipsamments	Mixed, calcareous, mesic	Endogleyic	Arenosols	(Calcaric, Greyic)	CERBA (CER 3)	
				BEL 6		Mixed, calcareous, mesic			(Calcaric)		
				BEL T1		Mixed, calcareous, mesic			(Calcaric)		
	Sommità dunali	> 150	<i>Quercus ilex</i> , <i>Pinus pinea</i> , <i>pinus pinaster</i> , <i>Asparagus acutifolius</i> , <i>Ruscus aculeatus</i>	BEL 3	Typic Ustipsamments	Mixed, calcareous, mesic	Protic	(Calcaric)	SAN VITALE (SAV 1)		
				BEL 4		Mixed, calcareous, mesic	Haplic	(Calcaric, Greyic)			
				BEL8		Mixed, calcareous, mesic		(Calcaric, Greyic)			
				BEL 9		Mixed, calcareous, mesic		(Calcaric)			
				BEL 11		Mixed, calcareous, mesic	Protic	(Calcaric, Greyic)			

Per quanto riguarda la classificazione del Soil Survey Staff (2006), tutti i campioni rientranti nelle unità San Vitale, Cerba e Pirottolo sono stati confermati dalle chiavi di interpretazione della Soil Taxonomy sia a livello di grande gruppo che di sottogruppo. Tutti i campioni si presentano a mineralogia mista, con un regime di temperatura mesico ed a parte i BEL7 e BEL10, tutti calcarei.

La classificazione IUSS (2006) definisce tutti i campioni come calcarei. I campioni che rientrano nella classificazione della RER (1994) come Pirottolo e Cerba risultano Endogleyic, ovvero presentano condizioni riducenti tra 50 e 100 cm di profondità da p.c. e colore gleyic (Munsell, 2000) per almeno il 25% del volume di suolo.

L'identificazione dei pedotipi all'interno delle UdP ha permesso di ricondurre queste alle sottounità pedologiche San Vitale, Cerba e Pirottolo, mediante regionalizzazione del dato puntuale.

4.2.2.1. Carta dei Suoli area boscata di Bellocchio

La Carta dei Suoli visualizzata in figura 4.23, può dirsi di prima approssimazione, ma la buona interpretazione dei dati disponibili ha comunque fornito un dettaglio soddisfacente. Il livello informativo è stato restituito su supporto cartaceo alla scala 1:10000, presente in allegato.

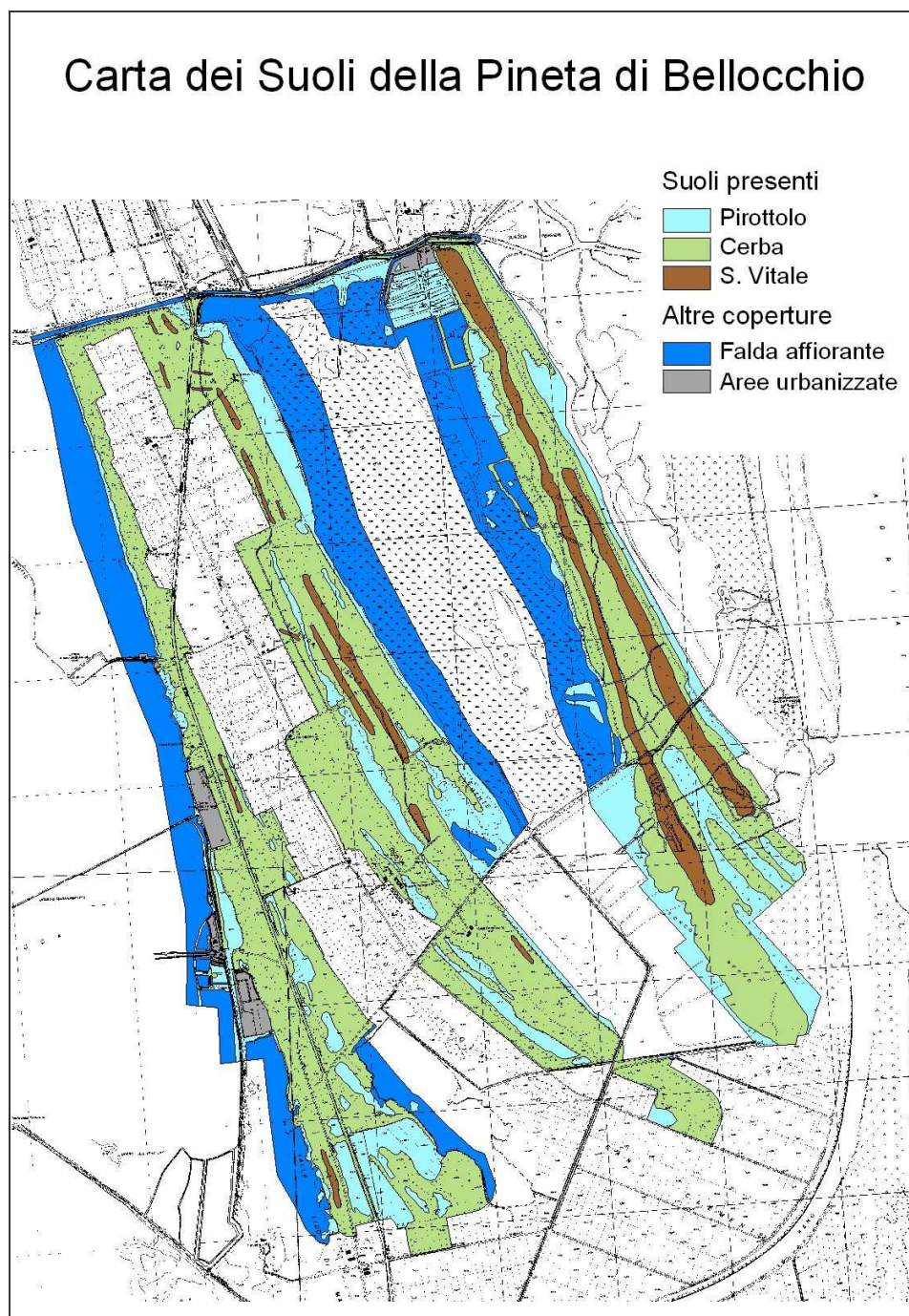


Figura 4.23. Carta dei Suoli dell'area boscata di Bellocchio.

Rispetto alla carta delle UdP si osserva che buona parte delle aree inizialmente considerate incerte tra San Vitale e Cerba sono state poi ricondotte alle sottounità San Vitale, una volta osservata la presenza di tali pedotipi all'interno di queste. Esempio può essere dato dal BEL3 per il sistema di cordoni dunali più recente e dal BEL4 osservato nel sistema di cordoni dunali intermedio. L'apertura di altri profili quali il BEL1 e il BELT1 è invece risultata utile per caratterizzare le zone incerte tra Cerba e Pirottolo.

Come si può riscontrare dalla figura 4.24, l'area di studio ricade all'interno delle delinearzioni 18 e 200. Nella fattispecie gli allineamenti dunali, denominati "1" e "2" nella carta delle U.d.P. (figura 4.20 e 4.24), sono compresi nella delineazione 200 mentre nella 18 è compreso solo l'allineamento di formazione più recente "3".

La distribuzione in percentuale e l'estensione in ha delle cinque categorie di copertura all'interno delle due delinearzioni, sono riportate nelle tabelle 4.15 e 4.16 e nei grafici di figura 4.25.

Nell'area di Bellocchio all'interno della delineazione 18, i suoli predominanti sono i Cerba, seguiti dai San Vitale e secondariamente dai Pirottolo. I tre pedotipi coprono rispettivamente il 53,3%, il 23,2% ed il 16,6% della superficie totale.

Anche le percentuali relative alla sola superficie pedologica confermano questo trend (tabella 4.15).

I suoli Cerba, benché verosimilmente presenti e menzionati per tale delineazione dalla RER (www.gias.net), non sono stati osservati nei profili aperti in tale area. Contrariamente si è osservato direttamente la presenza di suoli Pirottolo. I suoli San Vitale sono stati osservati solo dall'apertura del profilo BEL3. Riguardo la designazione di quest'ultimo ad una delle due tipologie di S. Vitale (SAV1 e SAV3) indicate dalla RER per tale delineazione, permangono alcuni dubbi. Benché l'ambiente forestale in sommità di duna rimandi alla presenza di SAV1, il contenuto molto scarso di C. organico sin dal primo orizzonte, la ridotta umificazione della lettiera e l'assenza di decarbonatazione superficiale, potrebbe lasciar pensare alla presenza di un profilo decapitato (SAV3) come descritto sul sito GIAS (www.gias.net).

Nell'area comprese nella delineazione 200, i suoli Cerba sono di gran lunga predominanti, seguiti dai Pirottolo ed in ultimo dai San Vitale. I tre pedotipi coprono rispettivamente il 75.8%, il 17.9% ed il 3.6% della superficie totale. Anche le percentuali relative alla sola superficie pedologica confermano questo trend (tabella 4.16). I suoli Cerba indicati dalla RER in delineazione 200 sono descritti con uso del suolo a prevalenza agricolo (CER1) e originatisi dallo spianamento di dune. Per l'ambiente studiato i Cerba osservati sono stati ricondotti alla tipologia CER3, tipica di ambienti naturali, pur non escludendo che prima della piantumazioni forestali oggi presenti siano stati effettuati degli spianamenti. Suoli Pirottolo sono stati rinvenuti nelle diverse bassure interdunali specialmente nella zona meridionale. È possibile che la scarsa presenza in tale delineazione di suoli San Vitale, sia legata oltre che allo spianamento delle dune, anche alla forte subsidenza verificatasi nella zona con abbassamenti di quasi 1 m nell'ultimo secolo (Teatini et al., 2005).

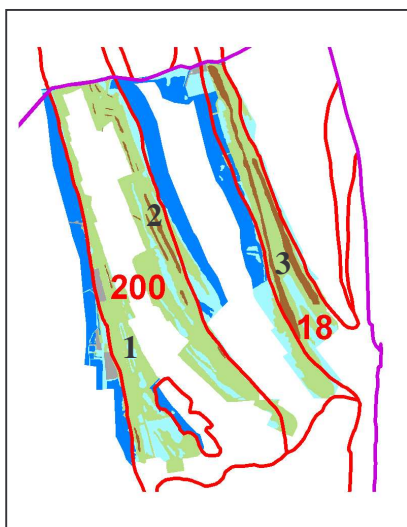


Figura 4.24. Posizione dell'area di Bellocchio rispetto alle delineazioni 18 e 200 della Carta dei Suoli di Pianura (RER, 1999)

Tabella 4.15. Distribuzione dei suoli e delle altre coperture, presenti in Bellocchio nella delineazione n. 18.

UdP	Area (ha)	Area (% su tot.)	Area (% su suoli)
Aree urbanizzate	0.503	0.4	
Falda affiorante	7.571	6.5	
Pirottolo	19.292	16.6	17.8
Cerba	61.959	53.3	57.2
S. Vitale	27.018	23.2	25.0
Totale superficie	116.343	100.0	
Totale sup. suoli	108.269	100.0	

Tabella 4.16. Distribuzione dei suoli e delle altre coperture, presenti in Bellocchio nella delineazione n. 200.

UdP	Area (ha)	Area (% su tot.)	Area (% su suoli)
Aree urbanizzate	2.855	1.2	
Falda affiorante	3.839	1.6	
Pirottolo	44.325	17.9	18.4
Cerba	187.385	75.8	77.9
S. Vitale	8.907	3.6	3.7
Totale superficie	247.311	100.0	
Totale sup. suoli	240.617		100.0

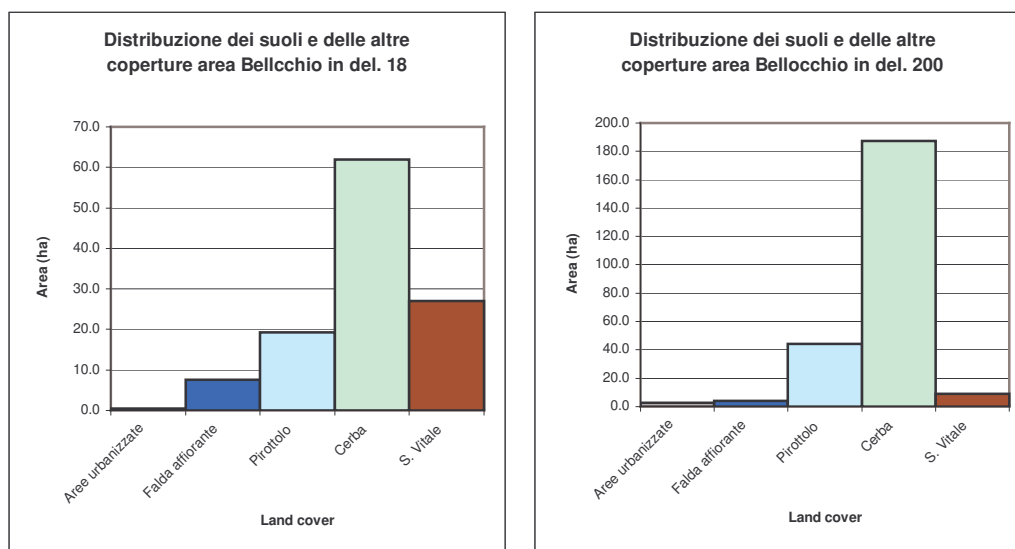


Figura 4.25. Distribuzione dei suoli e delle altre coperture dell'area di Bellocchio nelle delineazioni 18 (a sinistra) e 200 (a destra).

4.2.2.2. Elaborazione dei dati analitici dell'area di Bellocchio

Come già accennato precedentemente, le tre fasce boscate di Bellocchio possono dirsi situate lungo tre gruppi di cordoni dunali con età di formazione via via più recente procedendo dalle Valli di Comacchio verso il mare.

Pertanto, sempre per i tre pedotipi considerati dalla RER (www.gias.net), si è cercato di vedere quale relazione vi sia tra l'età di messa in posto dei sedimenti e l'avvio della pedogenesi, e le caratteristiche dei suoli. Le proprietà considerate sono le medesime prese in esame per la Pineta di San Vitale, mentre lungo i profili

sono stati considerati i primi tre orizzonti, uniformati ad A-A/C-C per San Vitale e Cerba e ad A-A/Cg-Cg per i Pirottolo.

Tale elaborazione vuole fornire un'indicazione dei massima circa gli andamenti di certe proprietà in suoli con diverse età di formazione. Nei grafici riportati di seguito si osserva infatti che non tutti i pedotipi sono presenti in modo plurimo lungo i tre gruppi di cordoni dunali, pertanto la loro rappresentatività può essere in certi casi limitata.

Vengono di seguito descritti gli andamenti di pH, calcare totale, carbonio organico e CE 1:2.5 lungo i profili posti sui gruppi di cordoni dunali aventi diversa età di formazione.

Reazione - pH. Nei suoli Pirottolo (figura 5.5), si osserva un andamento crescente dei valori verso gli orizzonti più profondi. Non si osservano a parità di orizzonte variazioni significative lungo i tre gruppi di allineamenti dunali.

Nei suoli Cerba (figura 5.6) si può osservare solamente l'aumento del pH con la profondità, essendovi profili solamente sul gruppo di cordoni di età intermedia.

Nei suoli San Vitale (figura 5.7) l'andamento crescente verso il basso appare un po' meno continuo e definito lungo i profili. A parità di orizzonte considerato i valori medi sembrano leggermente aumentare negli allineamenti dunali di età più recente, anche se l'alta variabilità attorno a questi valori e la presenza di un solo profilo San Vitale negli allineamenti più recenti, rende difficile tale stima. A parità di orizzonte e di età di formazione i suoli San Vitale presentano valori superiori di pH rispetto a Cerba e Pirottolo.

Calcare totale. Nei suoli Pirottolo (figura 5.8) si osserva una diminuzione più o meno marcata del livello di calcare totale negli orizzonti più superficiali, ma ancora più evidente risulta il forte calo di valori, osservabile a parità di orizzonte, procedendo dai suoli di più recente formazione verso quelli più antichi. Segno evidente quest'ultimo della maggiore decarbonatazione avvenuta lungo i profili dei suoli di più antica pedogenesi.

Vale la pena evidenziare che nei suoli Pirottolo ad una marcata diminuzione di calcare totale lungo i cordoni dunali di diversa età di formazione non corrisponde una diminuzione di pH. Forse la vicinanza della falda e la forte presenza di

sostanza organica svolgono un effetto tampone, mascherando gli effetti della decarbonatazione.

Evidente anche nei suoli Cerba (figura 5.9) il calo dei valori di calcare totale negli orizzonti più superficiali.

Nei suoli San Vitale (figura 5.10) il calo dei valori verso la superficie è evidente nei profili situati lungo i due sistemi dunali più antichi, ma non nel sistema dunale più recente (XVII-XVIII secolo). Benché rappresentato da un unico profilo questo risulta un segno palese dell'effetto ancora minimo della decarbonatazione sui suoli del sistema dunale più recente anche sulle sommità più rilevate. Anche qui a parità di orizzonte, si osserva una marcata diminuzione dei valori procedendo verso il sistemi dunali più antichi.

Carbonio organico. I suoli Pirottolo (figura 5.11) presentano valori da elevati a molto elevati di C org. nel primo orizzonte A che decrescono rapidamente verso gli orizzonti più profondi. Benché la variabilità attorno ai valori medi sia spesso molto elevata, a parità di orizzonte non si osservano variazioni significative dei valori tra i diversi allineamenti dunali.

Sia per i suoli Cerba (figura 5.12) che per i suoli San Vitale (figura 5.13) si osserva il decremento di C org. dal primo orizzonte a quelli più profondi. Nei San Vitale, a parità di orizzonte, si osserva un aumento del C org. procedendo dagli allineamenti più recenti verso quelli più antichi, segno evidente del maggior periodo disponibile per l'apporto di materia organica dalla vegetazione e di umificazione di questa nel suolo.

È da notare che a parità di orizzonte e di allineamento dunale, i Pirottolo presentano mediamente valori di C org. dalle 2 alle 10 volte superiori rispetto a Cerba e San Vitale.

CE 1:2.5. Nei suoli Pirottolo (figura 5.13) i valori di CE assumono andamenti abbastanza variabili. Nell'allineamento dunale più antico si osserva un trend di aumento verso gli orizzonti più profondi, mentre per gli altri due allineamenti il trend sembra essere crescente verso la superficie. A parità di orizzonte non si evidenzia un particolare trend attraverso i diversi allineamenti dunali.

Nei suoli Cerba (figura 5.14) e San Vitale (figura 5.15) si osserva un leggero aumento dei valori verso la superficie. A parità di orizzonte nei San Vitale non si riescono ad osservare particolari trend della CE tra i diversi allineamenti dunali.

È da evidenziare che nei suoli Pirottolo si hanno generalmente i valori più alti a parità di orizzonte ed allineamento dunale, ma nel contempo anche le maggiori variabilità attorno alle medie. I trend di aumento verso la superficie, seppur non molto marcati, sono probabilmente da ricondurre agli accumuli salini per risalita capillare indotti dalle temperature abbastanza elevate legate al periodo di campionamento.

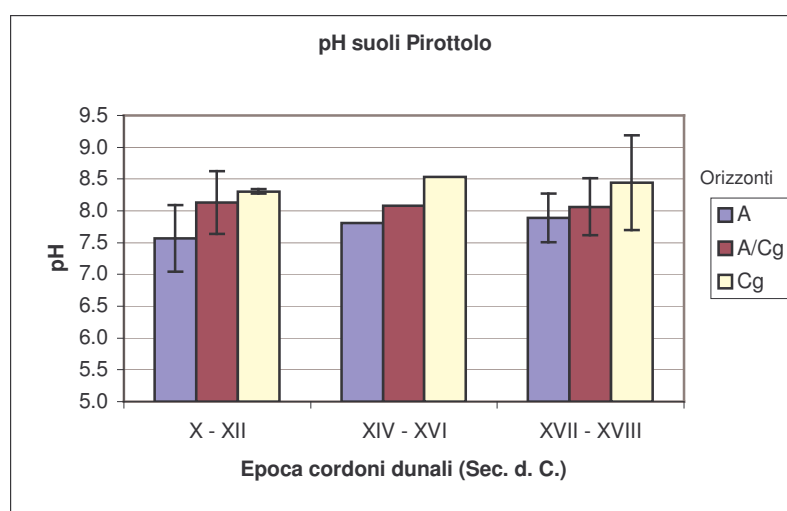


Figura 5.5. pH lungo i profili dei suoli Pirottolo posti sui tre cordoni dunali.

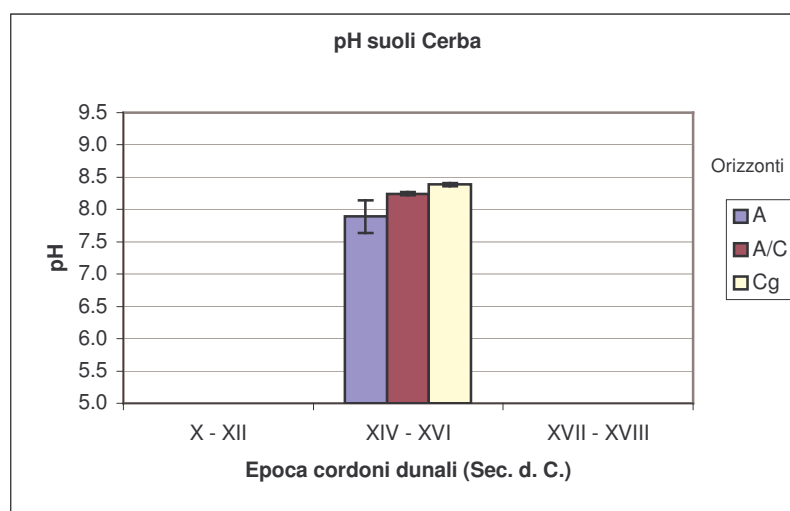


Figura 5.6. pH lungo i profili dei suoli Cerba posti sui tre cordoni dunali.

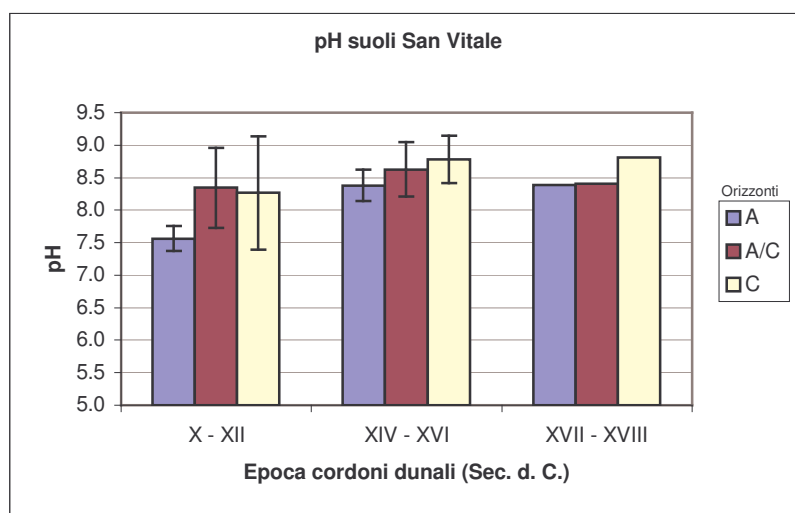


Figura 5.7. pH lungo i profili dei suoli San Vitale posti sui tre cordoni dunali.

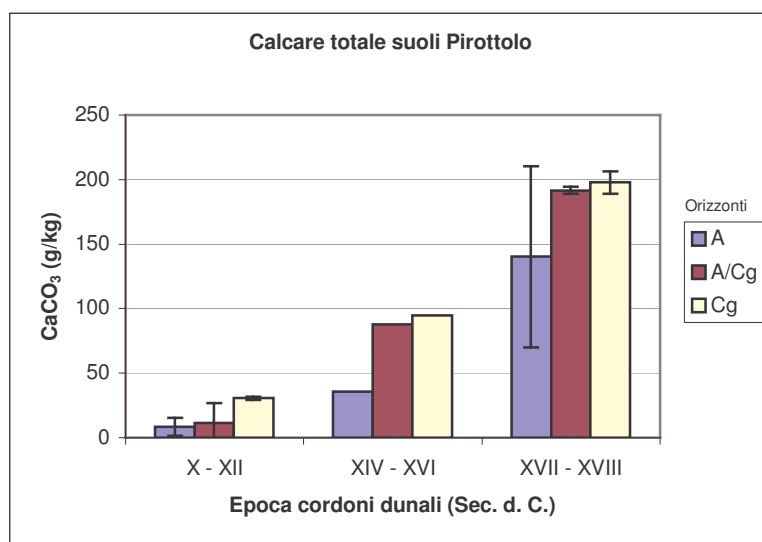


Figura 5.8. Calcare totale lungo i profili dei suoli Pirottolo posti sui tre cordoni dunali.

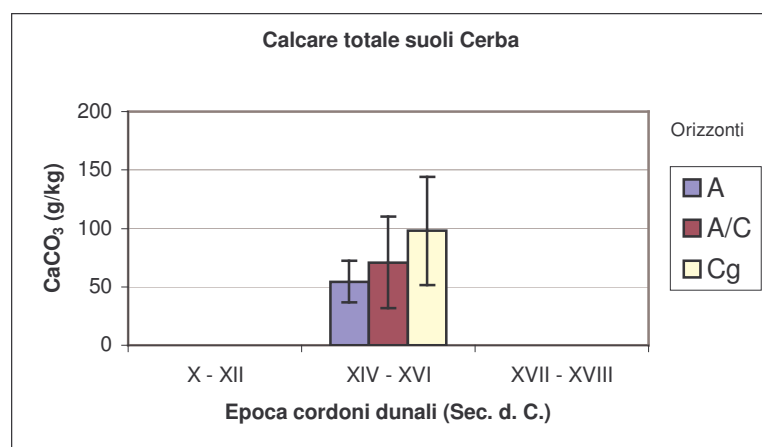


Figura 5.9. Calcare totale lungo i profili dei suoli Cerba posti sui tre cordoni dunali.

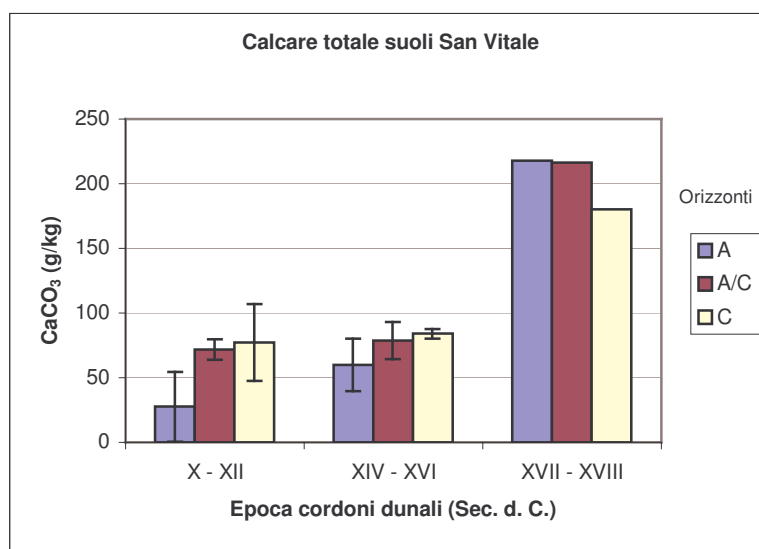


Figura 5.10. Calcare totale lungo i profili dei suoli San Vitale posti sui tre cordoni dunali.

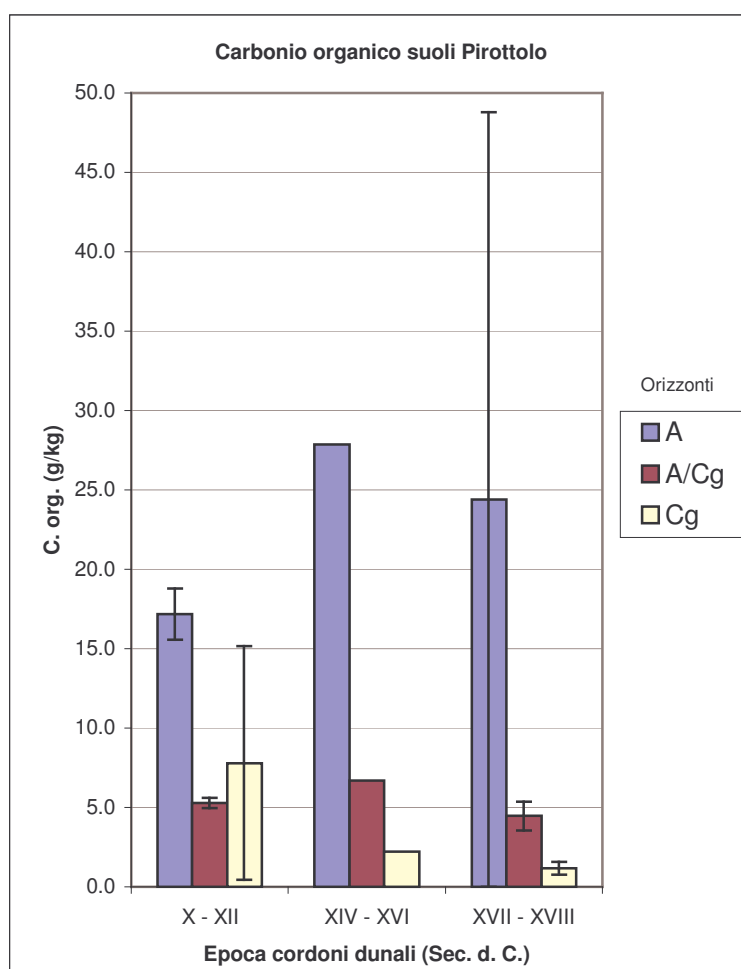


Figura 5.11. Carbonio organico lungo i profili dei suoli Pirottolo posti sui tre cordoni dunali.

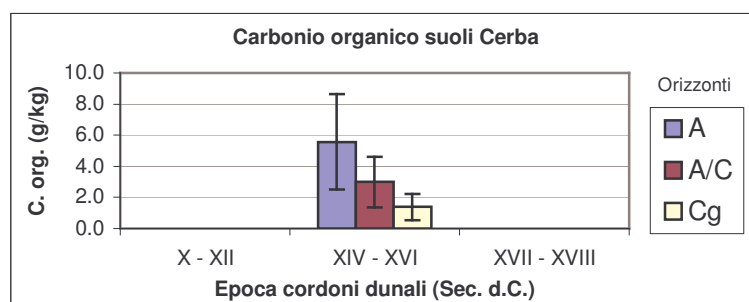


Figura 5.12. Carbonio organico lungo i profili dei suoli Cerba posti sui tre cordoni dunali.

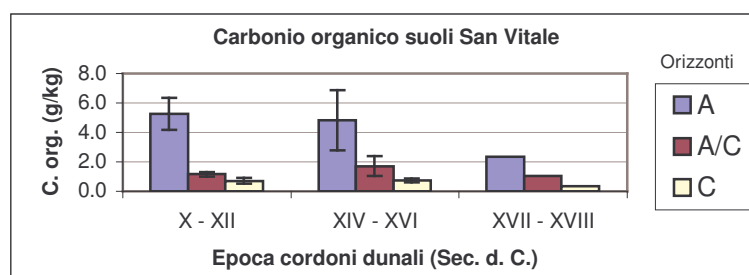


Figura 5.13. Carbonio organico lungo i profili dei suoli San Vitale posti sui tre cordoni dunali.

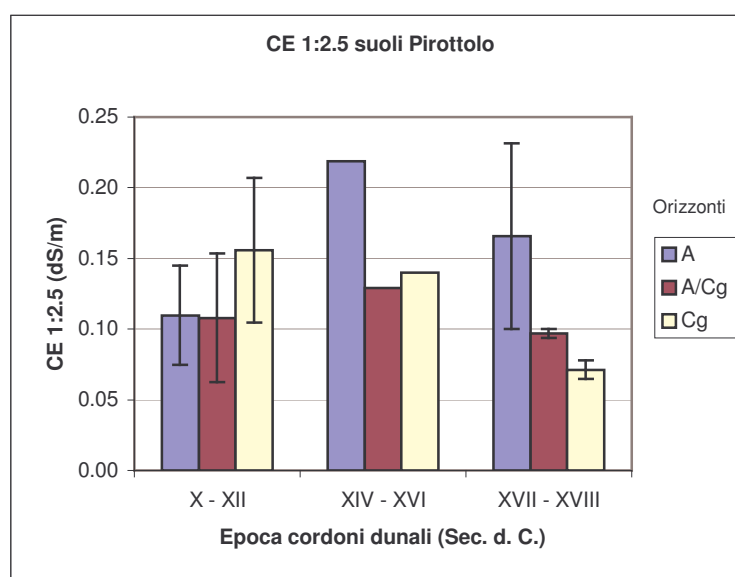


Figura 5.14. CE 1:2.5 lungo i profili dei suoli Pirottolo posti sui tre cordoni dunali.

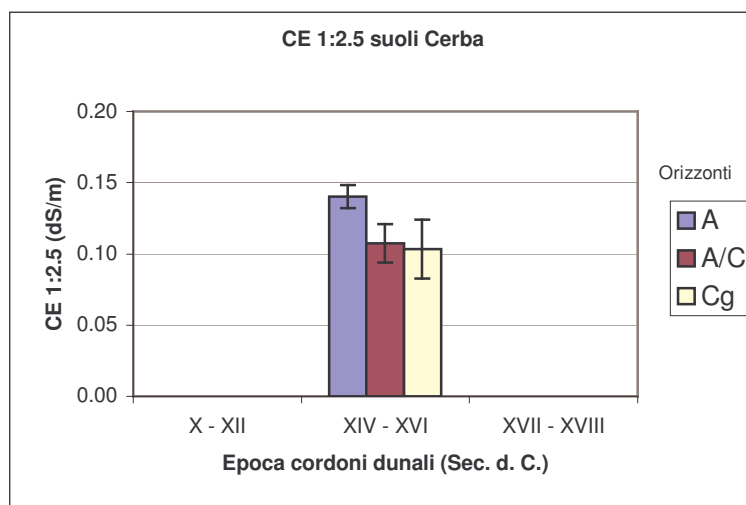


Figura 5.15. CE 1:2.5 lungo i profili dei suoli Cerba posti sui tre cordoni dunali.

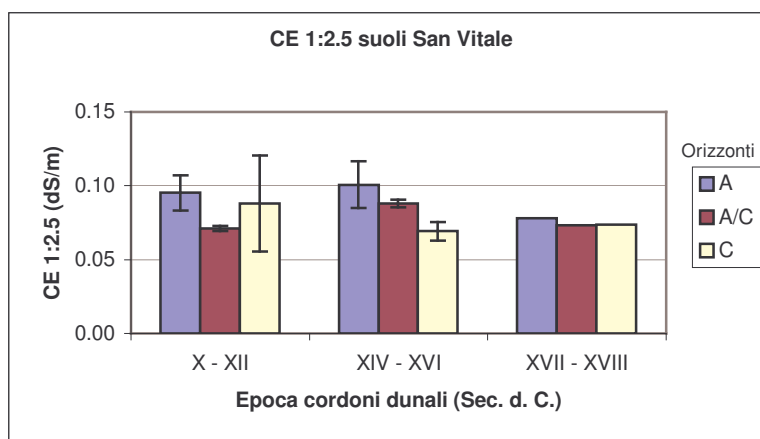


Figura 5.16. CE 1:2.5 lungo i profili dei suoli Pirottolo posti sui tre cordoni dunali.

Come riassunto generale di quanto detto si riportano in tabella 4.17 gli andamenti generali dei parametri descritti attraverso i diversi gruppi di cordoni dunali aventi età di formazione diversa.

Tabella 4.17. Riassunto degli andamenti dei parametri chimici rispetto ai cordoni dunali.

Suoli	pH	CaCO ₃	C org.	CE	legenda	
Pirottolo	—	↗	—	—	—	assenza di trend
Cerba	-	-	-	-	↗	aumento verso i cordoni più recenti
S. Vitale	↗	↘	↘	—	↘	diminuzione verso i cordoni più recenti
" - " : trend non determinabile poiché vi sono profili su un unico sistema di cordoni.					↗	relazione debole

Dalla tabella si osserva che calcare totale (CaCO_3) e C org. risentono dell'età di probabile formazione dei suoli (in relazione all'epoca di formazione dei gruppi di cordoni dunali). Il pH e la CE ne risentono molto di meno.

4.3. PINETA DI CLASSE

4.3.1. Indagine ambientale Pineta di Classe

Nella Pineta di Classe sono menzionati rilievi pedologici da Zangheri (1936) e da Sandri (1956), ma i dati nella bibliografia recuperata non forniscono informazioni sufficienti per ricostruire un quadro simile a quanto sintetizzato per San Vitale. Rilievi più dettagliati furono svolti anche qui nel 1968 da Sandri e Casalicchio (1970), inoltre nel 1995 fu effettuato un rilevamento pedologico nell'ambito di un progetto per il risanamento e la gestione naturalistica della Pineta di Classe (Georgiou, 1996).

Nelle figure 4.26, 4.27 e 4.28 viene riportata una sintesi dei lavori di Sandri e Casalicchio (1970) e Georgiou (1996) dove ogni profilo è stato ricondotto ad una tipologia di suolo della RER (1994) ed ogni parametro chimico è stato mediato sullo strato di suolo da 0 a 100 cm per i Cerba e i San Vitale e da 0 a 50 cm per i Pirottolo.

Dalle figure 4.26, 4.27 e 4.28 si osservano nel complesso valori di pH moderatamente alcalini. Da moderatamente a molto calcarei risultano i suoli S. Vitale e Cerba nel rilievo del 1968 e molto calcarei i suoli Cerba e Pirottolo nel rilievo del 1995 (figura 4.27). Generalmente scarso il contenuto di carbonio organico nei S. Vitale e Cerba, elevato invece nei Pirottolo (MiPAF, 2006). Nel rilievo del 1995 si osserva come (tabella 4.18.) i suoli Cerba siano poveri in contenuto di azoto totale (Giardini, 1986), molto bassi in tenore di P assimilabile, normali in salinità e con alta CSC. I suoli Pirottolo risultano invece ricchi di azoto, molto bassi in P assimilabile, normali in salinità e con CSC molto alta.

Sin dai rilievi di Zangheri (1936) e Sandri (1956) i suoli della Pineta di Classe sono indicati con tenori di carbonato di calcio superiori alla Pineta di S. Vitale, a parità di ambiente morfologico e vegetazione presente. All'interno di Classe inoltre i suoli più ricchi di carbonati sono nella porzione meridionale. Da tale distribuzione si evince un gradiente di crescita verso sud dei carbonati, lasciando intuire la

graduale sostituzione lungo i cordoni costieri degli apporti sedimentari deltizi del Po di Primaro, con quelli più ricchi di carbonati dei fiumi appenninici (Sandri, 1956).

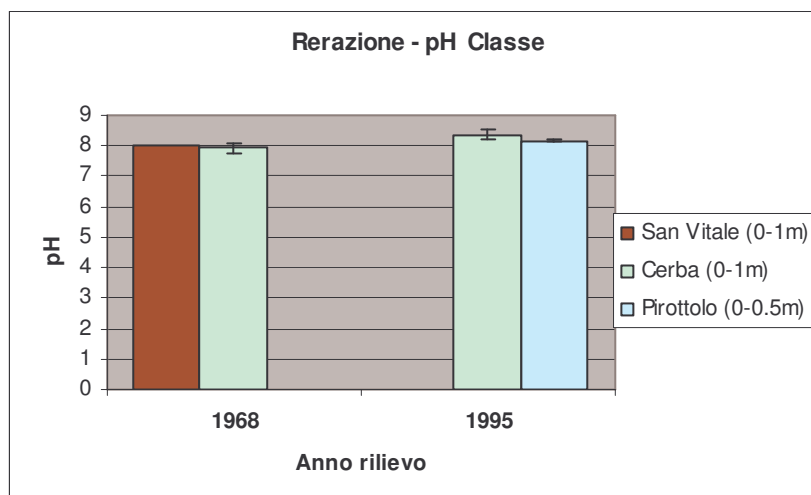


Figura 4.26. pH medio per tipologia di suolo nei diversi rilievi eseguiti.

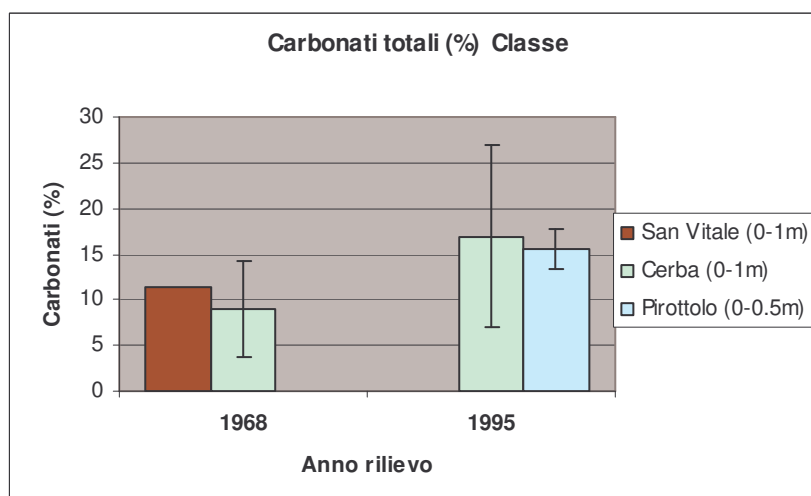


Figura 4.27. Tenore di carbonati medi per tipologia di suolo nei diversi rilievi eseguiti.

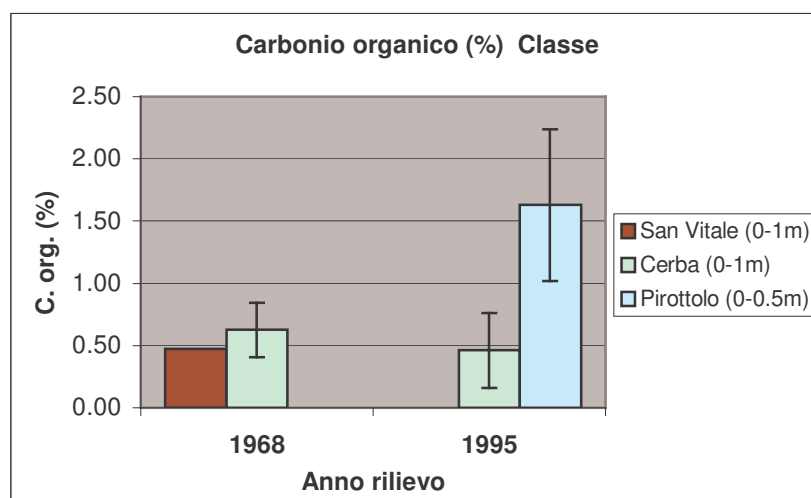


Figura 4.28. Tenore di carbonio organico medio per tipologia di suolo nei diversi rilievi eseguiti.

Tabella 4.18. Valori medi di N tot., fosforo assimilabile, CE (pasta satura), e CSC elaborati dai parametri di Georgiou (1996).

Suoli	N tot. (%)	P ass. (mg·kg ⁻¹)	C.E. (dS m ⁻¹)	C.S.C. (cmol·kg ⁻¹)
S. Vitale	-	-	-	-
Cerba	0.09	1.11	0.63	37.1
Pirottolo	0.27	4.64	0.92	71.8

Per la Pineta di Classe i livelli informativi utilizzati mediante GIS per definire gli ambiti omogenei delle unità di paesaggio sono indicati di seguito.

- DEM (Digital Elevation Model) delle quote altimetriche aggiornate al 2004.
- Carta della vegetazione (Piccoli et al., 1999b), aggiornata al 2006 da Ferrari e Diani.
- Carta geologica in scala 1:50000.
- Immagini telerilevate da satellite Quick Bird 2003.
- Carta Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:10000.

Il minor materiale a disposizione ha portato all'utilizzo della Carta della Vegetazione del Parco del Delta, stazione di Classe e Saline di Cervia, come principale elemento per potersi ricondurre agli ambiti omogenei. Tale documento è stato recentemente aggiornato nel 2006 da Ferrari e Diani. Anche qui i tipi vegetazionali sono stati riclassificati riconducendo ad essi una o più tipologie di suoli. I limiti di questo primo elaborato sono stati meglio definiti con l'aiuto delle Quick Bird e delle CTR, utilizzando le chiavi di lettura interpretative consolidate per l'indagine dei siti di S. Vitale e Bellocchio. Il DEM altimetrico è servito per corroborare le informazioni dedotte dagli altri livelli informativi. Come visibile dalla figura 4.29 la definizione delle unità di paesaggio è risultata incerta specialmente nelle zone a coperture di *Prunetalia spinosae*, *Quercus robur* e *Quercus pubescens*, in quanto presenti in ambienti meno mesofili rispetto Pineta di San Vitale.

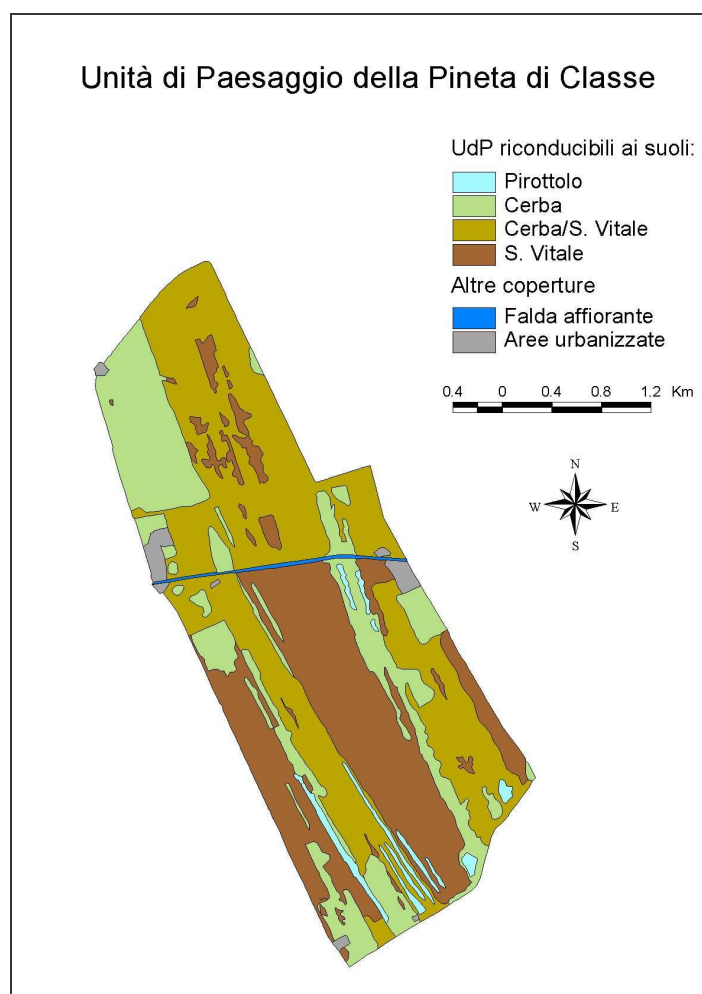


Figura 4.29. Carta delle Unità di Paesaggio di Pineta di Classe.

4.3.2. Indagine pedologica Pineta di Classe

Il rilevamento speditivo su classe si è svolto a più riprese ed è stato comprensivo di 28 trivellate. Inizialmente i sondaggi sono stati svolti su due transetti situati in direzione ovest – est perpendicolari agli allineamenti dunali a nord e a sud del canale Fosso Ghiaia, successivamente un’ulteriore serie di trivellate sono state eseguite lungo altri due transetti rispettivamente a sud verso il Torrente Bevano e nella porzione settentrionale (figura 4.30).

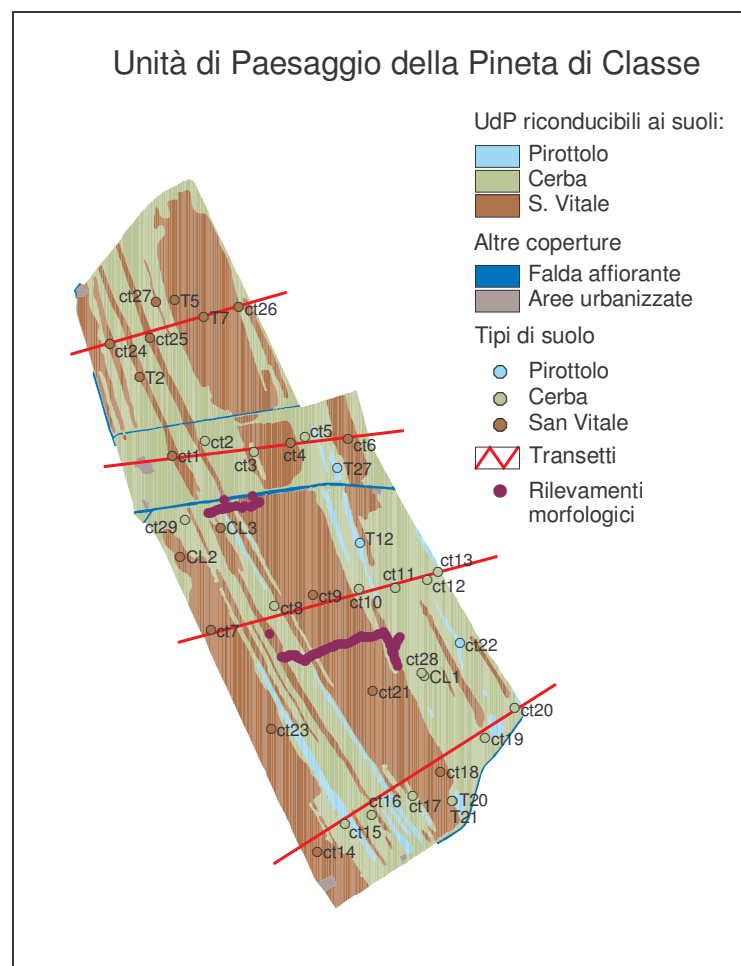


Figura 4.30. Insieme dei rilievi di indagine pedologica compiuti in Pineta di Classe.

In tabella 4.19 sono mostrati i siti sede di trivellate del rilevamento speditivo, comprensivi di osservazioni pedologiche e morfologico-vegetazionali.

Le carote prelevate sono state sottoposte in campo a test colorimetrico per la stima del pH ed alla reazione con HCl 1:10 v/v per la stima dei carbonati. Come visibile in tabella 4.19, da questi sondaggi è emerso che gran parte delle carote presentano un pH crescente con la profondità ed un effervescenza all'HCl da debole in superficie a spesso violenta in profondità. Per alcune si è cercato inoltre di identificare degli orizzonti diagnostici.

Sulla base del rilevamento speditivi sono stati individuati i siti idonei per l'apertura dei profili. I profili aperti sono stati 4 e per ognuno di essi sono stati descritti e campionati gli orizzonti individuati.

Tabella 4.19. Siti dei rilevamenti speditivi svolti mediante trivellate in Pineta di Classe.

Punto GPS	Coord. (UTM - WGS84 - Fuso 33)		Data	Morfologia	Vegetazione e tipo vegetazionale (1)	Prof. di falda (2)	Prof. screziature	Osservazioni	Suolo RER (3)
	E (m)	N (m)				cm	cm		
T2	282131	4916000	05/05/05	Zona depressa	Pioppi ribaltati	-150		pH 8-8.5. Effervescenza crescente con profondità	SV
T5	282449	4916578	05/05/05	Zona depressa	Roverelle, qualche pino	-150	140+ (gialle verticali)	Forte effervescenza all'HCl. A1/A2/C/2C	SV
T7	282672	4916432	05/05/05		Pini, edera, muschio	entro 150	100+ (poche)	Effervescenza medio alta. A/AC/C	SV
T12	283768	4914566	12/05/05	Zona depressa	Pini radi e deperienti (Mp)	-40		Effervescenza crescente con profondità	P
T20	284348	4912488	12/05/05		Pini radi (Aq)	-	30-35	Effervescenza crescente con prof. A/Cg/saturo	P
T21	284344	4912486	12/05/05			-120		Effervescenza crescente con prof. A1/A2/C/Cg/C _{H2O}	C
T27	283634	4915169	12/05/05			-5		Effervescenza crescente con prof., A1/Cg1/Cg2/Cg3/Cg4	P
CT1	282345	4915363	13/07/05	Pianeggiante	Pini giovani, querce, felce, pungitopo (Qp)	-150		pH 8-8.5. Effervescenza generalizzata	SV
CT2	282609	4915457	13/07/05	Pianeggiante	Arbusti: rovi felci prugnolo (Ps)	-79	15+	pH 8-8.5. Effervescenza generalizzata	C
CT3	282986	4915344	13/07/05	Piana depressa ripristinata	Radura arbustiva (Ps)	-130	75+	pH 8-8.5. Effervescenza generalizzata	C
CT4	283282	4915394	13/07/05	Piana depressa	Pini deperienti, querce, pungitopo (Qp)	-160 circa	80+	Effervescenza generalizzata	SV
CT5	283400	4915434	13/07/05	Zona depressa	Radura di prugnolo e graminacee (Im)	-106	60+	Effervescenza generalizzata	C
CT6	283735	4915390	13/07/05	Zona rilevata	Pini, pungitopo (Qp)	-	150+	Effervescenza generalizzata	SV

1 : Tipo vegetazionale da Carta della Vegetazione (Ferrari e Diani, 2006) indicato tra parentesi

2 : "-" significa assente entro i 150 cm da p.c.

3 : SV = San Vitale, C = Cerba, P = Pirottolo

Continuazione tabella 4.19. Siti dei rilevamenti speditivi svolti mediante trivellate in Pineta di Classe.

CT7	282545	4913970	31/08/05	Interduna	Rimboschimento pini e querce giovani (Br)	-	90+	pH 8-8.5. Effervesceza generalizzata	SV
CT8	283059	4914118	31/08/05	Bassura inondabile	Quercie, frassini, olmo (Mo)	-135	50+	Effervesceza generalizzata	C
CT9	283369	4914189	31/08/05	Piana rilevata	Pini adulti scarsi, quercie, pungitopo, biancospino (Oq)	-		Effervesceza generalizzata	SV
CT10	283733	4914206	31/08/05	Interduna	Quercie deperienti, veg. arbustiva abbondante (Ps)	-122	70	Effervesceza generalizzata	C
CT11	284021	4914199	31/08/05	Pianeggiante	Pino marittimo rado, quercie, biancospino, pungitopo, rovi (Ps)	-135	90+	Effervesceza generalizzata	C
CT12	284275	4914237	31/08/05	Pianeggiante	Pini adulti radi, quercie abb., arbustivo (Qp)	-110	50+	Effervesceza generalizzata	C
CT13	284368	4914294	31/08/05	App. rilevata	Pini adulti radi, pini giovani, asparago, biancospino (Oq)	-74	45+	Effervesceza generalizzata	C
CT14	283255	4912171	12/06/06	Interduna	Pini domestici giovani, farnia, leccio, asparago, campanula	-	80+	pH: 7-8-8.5 (4). Effervesceza crescente con prof.	SV
CT15	283487	4912369	12/06/06	Bassura inondabile	Ginepro, salice, cannuccia di palude, cespugli erba palustre	-108		pH 8-8.5 (4). Effervesceza crescente con prof.	C
CT16	283705	4912429	12/06/06	Piana interdunale	Pini secolari radi deperienti, quercia, edera, pungitopo	-103	80 (brune)	pH 7-8-8.5 (4), Effervesceza crescente con prof., limoso bruno poi grigio	C
CT17	284036	4912553	12/06/06	Piana dunale	Pini adulti deperienti, leccio, edera, farnia, edera, pungitopo	-134		pH 8-8.5. Effervesceza generalizzata	C

1 : Tipo vegetazionale da Carta della Vegetazione (Ferrari e Diani, 2006) indicato tra parentesi

4 : In sequenza crescente verso la profondità

2 : "-" significa assente entro i 150 cm da p.c.

3 : SV = San Vitale, C = Cerba, P = Pirottole

Continuazione tabella 4.19. Siti dei rilevamenti speditivi svolti mediante trivellate in Pineta di Classe.

CT18	284271	4912727	12/06/06	Piana dunale	Pini adulti deperienti, leccio, quercia, pungitopo	-	140+ (color torba)	pH 7-8.5-8 (4). Effervescenza più debole a metà profilo	SV
CT19	284641	4912966	12/06/06	Sommità dunale	Pini adulti e giovani, farnia, olivo selv., asparago	-121	80-110 (torba)	pH 8-8.5-7.5 (4). Effervescenza crescente con prof.	C
CT20	284890	4913181	12/06/06	Pianeggiante	Pini adulti e giovani, olivo selv., asparago, ginepro	-106	80	pH 7-8-7.5-8.5 (4). Effervescenza notevole	C
CT21	283784	4913402	31/08/06	Duna	Pino, leccio, quercia, pungitopo, olivello, ginepro asparago, muschi	-		pH 7-7.5-8.5 (4). Effervescenza crescente con prof.	SV
CT22	284494	4913722	31/08/06	Bassura allagata	Melo selvatico, molta lettiera indecomposta	-51	20+	pH 8-8.5. Effervescenza crescente con prof., limoso/arg. in sup.	P
CT23	282963	4913162	31/08/06	Piana alta in semi radura	Pini marittimi e domestici, prugnolo, quercia, olivello, asparago, sanguinello	-	160 (tracce)	pH 7.5-8. Effervescenza crescente con prof.	SV
CT24	281916	4916274	31/08/06	Piana ondulata	Pini deperienti e radi, farnia, melo selvatico, pungitopo, edera, olivello	-	140	pH 6.5-7.5-8.5 (4). Effervescenza crescente con prof.	SV
CT25	282235	4916295	31/08/06	Interduna	Quercie (farnia), felci, sanguinello	-	130	pH 7-8-8.5 (4). Effervescenza crescente con prof.	SV
CT26	282952	4916485	31/08/06	Ondulato	Pini adulti, farnia, edera, olivello, pungitopo, <i>Gallium aparine</i>	-160	80+	pH 7-8-8.5 (4). Effervescenza crescente con prof., Cg a 140cm	SV
CT27	282304	4916578	31/08/06	Interduna	Pini radi, pioppi, farnia, frassino, olivello, edera	-160	60-140	pH 7-8-8 (4). Effervescenza crescente con prof.	SV
CT28	284178	4913512	20/10/06	Pianeggiante ondulato	Pini e lecci radi, querce, pungitopo, fillirea	-135			C

1 : Tipo vegetazionale da Carta della Vegetazione (Ferrari e Diani, 2006) indicato tra parentesi

4 : In sequenza crescente verso la profondità

2 : "-" significa assente entro i 150 cm da p.c.

3 : SV = San Vitale, C = Cerba, P = Pirottolo

Le analisi chimico-fisiche sui campioni di suolo e di acqua sono illustrate in tabella 4.20 e 4.21. Di seguito verranno commentati di diversi parametri analizzati.

Tessitura. Generalmente gli orizzonti superficiali presentano una percentuale di sabbia minore rispetto agli orizzonti profondi. Si osservano tessiture sabbiosa-franca (CL3) e franca-sabbiosa (CL1, CL2, CT29) nei primi orizzonti che in profondità diventano sabbiosa (CL2, CL3) e sabbiosa-franca (CL1, CT29). La sito CT29 situato in ambiente di piana interdunale presenta il livello di sabbia più basso di tutti i campioni rilevati nelle quattro aree di studio.

Reazione - pH. I profili osservati presentano tutti un trend di aumento del pH dagli orizzonti superficiali a quelli profondi. Si passa da valori debolmente alcalini (CL1, CL3, CT29) e moderatamente alcalini in superficie, a valori fortemente alcalini o anche estremamente alcalini (CL3). L'effetto acidificante della materia organica è inoltre messo in evidenza dalla correlazione inversa osservata tra pH e C. organico ($R = -0.7688$).

Calcare totale. I profili osservati hanno aliquote di calcare totale sensibilmente maggiori dei siti di Bellocchio e di San Vitale. Anche in essi si osserva una diminuzione dei valori in superficie legata ai processi di decarbonatazione. Pertanto si passa da valori compresi tra il debolmente calcareo e il molto calcareo nei primi orizzonti, per raggiungere livelli in maggior parte sul fortemente calcareo (CL1, CL3, CT29). Il calcare totale è in discreta relazione col pH, la correlazione tra i due parametri presenta un coefficiente $R = 0.7360$.

Carbonio organico. Anche per Classe i tenori di C. org. sono concentrati nei primi orizzonti superficiali per decrementare in modo spesso esponenziale verso gli orizzonti profondi. Si passa da contenuti di C. org. elevati o molto elevati, per scendere rapidamente a contenuti molto scarsi negli orizzonti più profondi. Degno di nota è il profilo CT29 il cui contenuto di C. org. si mantiene molto elevato ed elevato sino al terzo orizzonte superficiale. Il C. org. presenta una buona correlazione inversa con il contenuto di calcare totale ($R = -0.8053$) ed una discreta correlazione con il quantitativo di argilla ($R = 0.7317$).

CE 1:2.5, CE ps. I valori di CE si presentano variabili anche se con un range inferiore a quello di San Vitale. Nei profili osservati si osserva un leggero aumento della CE nei primi orizzonti superficiali, in particolare nel CL1 dove si hanno valori leggermente alti. Negli orizzonti intermedi la CE si porta su valori normali ed in due profili (CL3, CT29) si osserva un aumento per effetto della vicinanza di falda salmastra a valori leggermente alti (CL3) e alti (CT29).

Le acque di falda campionate da profili e trivellate (tabella 4.21) presentano valori di pH da neutro a moderatamente alcalino. La CE si presenta molto variabile anche se non vengono mai raggiunti i valori di Pineta San Vitale. La relazione tra pH e CE (coeff. correlazione $R = -0.3833$) è troppo debole per poter essere considerata.

A livello spaziale non si osservano particolari gradienti di salinità e debole appare la correlazione tra la profondità della falda e la CE ($R = -0.4499$).

Lo stato chimico delle acque è in egual misura o di classe2 o di classe4 e 0, pertanto lo stato ambientale è rispettivamente “scadente” e “scadente” o “particolare” a seconda dell’entità antropica del fattore legato alla CE (tabella 4.21).

La maggior parte delle acque campionate se usate a scopo irriguo comportano un rischio di salinizzazione molto alto. Per altre il rischio salinizzazione è alto e per solamente una può dirsi medio (CT28).

Rispetto alle carte della CE di falda elaborate sui rilievi del 1995 (Georgiou, 1996), i campioni di falda odierni presentano valori massimi un poco inferiori a quelli raggiunti in alcune zone durante il monitoraggio di allora (> 15.3 dS/m nelle zone più orientali), anche se, trattandosi di rilievi non ripetuti, non è possibile ricondurre ciò ad una diminuzione effettiva della salinità della tavola d’acqua nella Pineta di Classe.

Tabella 4.20. Sintesi dei dati chimico fisici ottenuti dalla caratterizzazione dei profili pedologici della Pineta di Classe.

Profilo	Sigla oriz.	Profondità	Sabbia 2-0.05 mm	Limo 0.05-0.002 mm	Argilla <0.002mm	Tessitura	Reaz. in H ₂ O	Calcare totale	C. org.	CE 1:2.5	CE ps (1)	Sali solubili (2)
		cm	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	USDA	pH	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	dS·m ⁻¹	dS·m ⁻¹	meq·l ⁻¹
CL1	A1	0-5/8	729	178	93	FS	7.8	64	44.4	0.52	2.90	36
	A2	5/8-16/18	763	168	69	FS	8.2	137	18.5	0.22	1.25	16
	A/C	16/18-60	882	80	38	S	8.8	250	2.2	0.13	0.75	9
	Cg1	60-80	869	74	57	SF	8.8	244	1.5	0.12	0.71	9
	Cg2	80-104+	869	84	47	SF	8.5	254	1.1	0.13	0.76	10
CL2	A1	0-8	729	193	78	FS	8.0	43	28.7	0.19	1.05	13
	A2	8-21	740	193	67	FS	8.3	87	14.8	0.14	0.82	10
	A/C	21-46	891	73	36	S	8.5	182	1.2	0.08	0.50	6
	C	46-65	912	57	31	S	8.7	204	0.5	0.08	0.47	6
	2C1	65-82	923	56	21	S	8.6	202	0.6	0.08	0.49	6
	2C2	82-103+	923	61	16	S	8.7	177	0.6	0.08	0.49	6
CL3	A1	0-5/8	804	144	52	SF	7.6	52	45.5	0.28	1.61	20
	A2	5/8-28	858	111	31	SF	8.1	197	8.2	0.14	0.80	10
	A/C	28-50/52	934	45	21	S	8.7	261	1.5	0.09	0.53	7
	C1	50/52-70	912	72	16	S	8.8	268	1.4	0.09	0.55	7
	C2	70-92	955	34	10	S	8.4	295	0.3	0.08	0.50	6
	C3	92-110	939	45	16	S	8.6	240	1.1	0.13	0.75	9
	2Cg1	110-140	880	89	31	S	9.6	269	1.1	0.67	3.93	49
	2Cg2	140-180+	901	78	21	S	9.6	273	0.6	0.88	5.25	66
CT29	A1	0-10	632	249	120	FS	7.6	120	49.2	0.29	1.54	19
	A2	10-30	602	266	132	FS	8.2	165	30.5	0.26	1.39	17
	A/Cg	30-42	624	245	132	FS	8.3	217	16.8	0.27	1.44	18
		42-65	758	183	59	SF	8.5	206	3.0	0.31	1.74	22
		65-90	764	188	48	SF	8.6	217	1.9	0.40	2.27	28
		90-120	818	144	38	SF	8.2	217	1.0	0.52	3.06	38
		120-150+	850	117	33	SF	8.9	208	0.8	0.63	3.67	46

1 : estrapolato mediante Monteleone (2003).

2 : estrapolato su indicazione del MiPAF (2000).

Tabella 4.21. Analisi chimiche sulle acque di falda di Pineta di Classe.

Campione	Profondità da p.c.	Reazione	CE	Salinità (1)	Stato chimico (2)	Rischio salinizzazione per uso irriguo (3)
	cm	pH	dS·m ⁻¹	g·l ⁻¹		
Acque di falda dei profili						
CL1	-145	8.0	1.73	0.69	Classe 2	Alto
CL3	-178	8.4	8.44	3.65	Classe 4/0	Molto alto
Acque di falda delle trivellate						
CT2	-79	8.0	10.73	5.96	Classe 4/0	Molto alto
CT3	-130	8.0	9.84	5.43	Classe 4/0	Molto alto
CT5	-106	6.9	17.40	10.05	Classe 4/0	Molto alto
CT8	-135	6.9	3.88	1.62	Classe 4/0	Molto alto
CT10	-122	7.7	2.42	0.99	Classe 2	Molto alto
CT11	-135	7.3	1.16	0.46	Classe 2	Alto
CT15	-108	8.0	3.04	1.58	Classe 4/0	Molto alto
CT16	-103	8.0	0.65	0.31	Classe 2	Medio
CT19	-121	7.9	5.83	3.16	Classe 4/0	Molto alto
CT20	-106	7.5	1.73	0.87	Classe 2	Alto
CT22	-51	6.6	17.04	7.76	Classe 4/0	Molto alto
CT28	-135	7.5	0.60	0.23	Classe 2	Medio
CT29	-109	7.4	4.58	1.91	Classe 4/0	Molto alto

1 : UNESCO, 1983

2 : Dlgs 152/2006 - Dlgs 152/99, All. 1 Tab. 20

3 : US Salinity Laboratory Staff, 1954; MiPAF, 2001

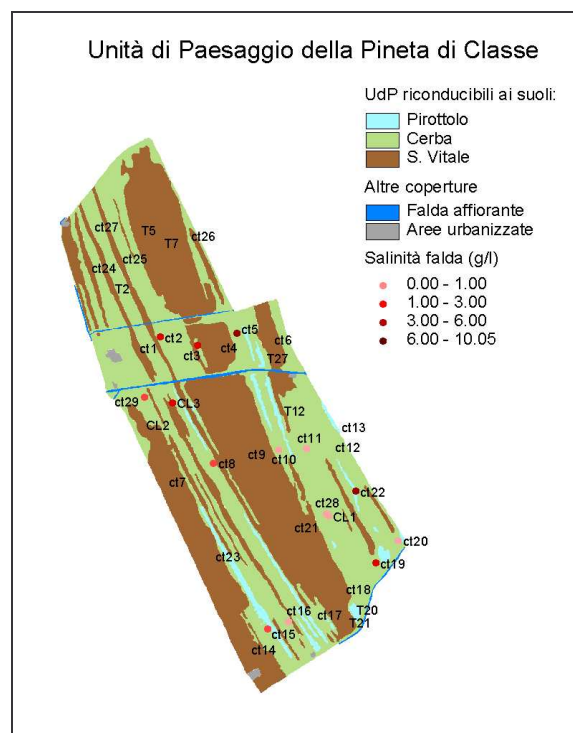


Figura 4.31. Unità di Paesaggio della Pineta di Classe e valori di salinità dei campioni di acqua di falda alla base di profili e trivellate.

Tabella 4.22. Classificazione dei profili campionati nella Pineta di Classe.

AMBIENTE	MORFOLOGIA	PROF. DI FALDA	VEGETAZIONE PREVALENTE	PROFILO	CLASSIFICAZIONE					NOME E SIGLA SUOLO (RER, 1994)
					SSS, 2003 (*)		FAO, 1998 (*)			
					SOTTOGRUPPO	FAMIGLIA	PREFISSO	RSG	SUFFISSO	
Litorale costiero	Piane interdunali, antiche dune spianate, spiazzate	50 - 150	<i>Quercus robur</i> , <i>Quercus pubescens</i> , <i>Fraxinus oxycarpa</i> , <i>Pinus pinea</i> (deperiente), <i>Ruscus aculeatus</i> , <i>Rhamnus catharticus</i> , <i>Prunus spinosa</i>	CT29	Aquic Ustipsamments	Mixed, calcareous, mesic	Calcaric	Arenosols	(Gleyic)	CERBA
		50 - 150		CL1	Aquic Ustipsamments	Mixed, calcareous, mesic	Calcaric	Arenosols	(Gleyic)	CERBA
Litorale costiero	Sommità dunali	> 150	<i>Quercus ilex</i> , <i>Pinus pinea</i> , <i>Pinus pinaster</i> , <i>Asparagus acutifolius</i> , <i>Ruscus aculeatus</i>	CL2	Typic Ustipsamments	Mixed, calcareous, mesic	Aridic	Arenosols	(Calcaric)	SAN VITALE
		> 150		CL3	Typic Ustipsamments	Mixed, calcareous, mesic	Aridic	Arenosols	(Calcaric)	SAN VITALE

* : i profili sono stati ricondotti sulla base delle indicazioni date dalla RER (www.gias.net) alle sottounità pedologiche San Vitale e Cerba e ad ognuno è stata attribuita la classificazione riportata per tali pedotipi.

Dal confronto dei risultati di laboratorio e dalle schede di pedologiche compilate in campo sono stati designati in maniera puntuale i diversi orizzonti osservati nei profili pedologici (tabella 4.20).

Non è stata eseguita una vera e propria classificazione tassonomica dei profili. Questi sono stati infatti ricondotti sulla base delle indicazioni date dalla RER (1994) e dal sito GIAS (www.gias.net) alle sottunità pedologiche San Vitale e Cerba e ad ognuno è stata attribuita la classificazione riportata per tali pedotipi come visualizzato in tabella 4.22.

I profili CL1 e CT29, ricondotti alla tipologia Cerba, vengono quindi ad essere classificati come Aquic Ustipsamments secondo la Soil Taxonomy (SSS, 2003) e come Calcaric Arenosols (Gleyic) secondo il sistema WRB (FAO, 1998).

I profili CL2 e CL3, invece, sono stati ricondotti alla tipologia San Vitale e pertanto vengono classificati come Typic Ustipsamments secondo la Soil Taxonomy (SSS, 2003) e come Aridi Arenosols (Calcaric) secondo il sistema WRB (FAO, 1998).

L'identificazione dei pedotipi all'interno delle UdP ha permesso di ricondurre queste alle sottunità pedologiche indicate dalla RER per tale delineazione, ossia Cerba e San Vitale.

Tuttavia i profili aperti non rappresentano nell'interezza i principali ambienti pedogenetici di Classe. Dai rilievi speditivi infatti sono stati osservati pedotipi riconducibili alla sottunità Pirottolo, che per la mancata apertura di almeno un profilo rappresentativo, non si è avuto modo di descrivere e campionare. Inoltre anche per quanto riguarda i suoli Cerba e San Vitale, il numero limitato di profili ne consente una caratterizzazione la cui estendibilità a tutti gli ambienti di duna e di interduna dovrà essere validata da altri rilievi.

4.3.2.1. Carta dei Suoli Pineta di Classe

La cartografia dei suoli sviluppata per Classe (figura 4.32) consente al momento di fornire una prima approssimazione della distribuzione dei pedotipi, la cui attendibilità è minore di quella di Bellocchio sia per l'inferiore numero di profili, sia per l'interpretazione delle Quick Bird che risulta meno univoca.

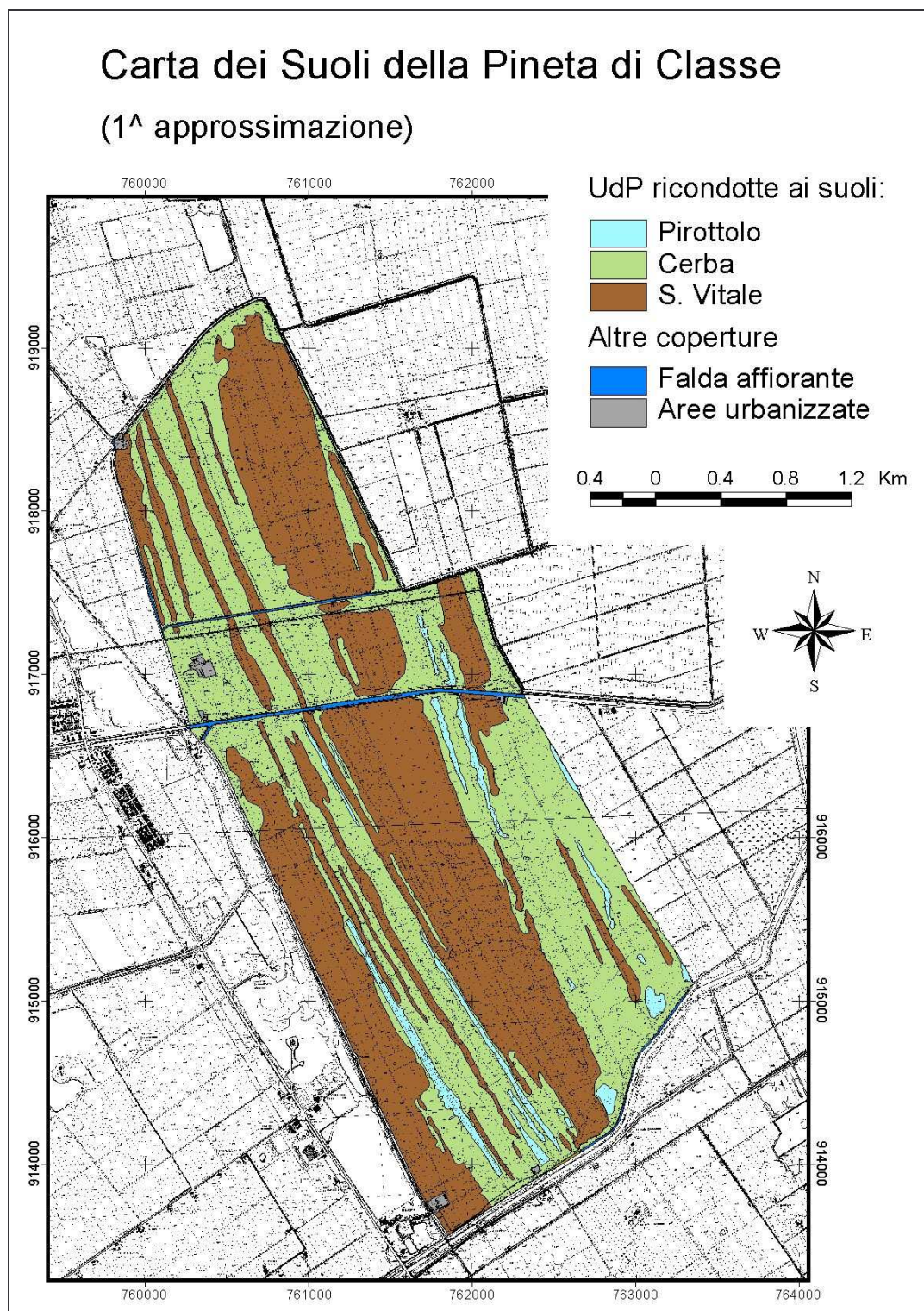


Figura 4.32. Carta dei Suoli della Pineta di Classe di 1^a approssimazione.

Dall'elaborato sinora ottenuto sembra che i suoli Cerba siano di poco più abbondanti dei suoli San Vitale, questi ultimi molto più presenti in estensione

rispetto a Pineta San Vitale, rendono possibile la presenza del bosco termofilo di querce sempreverdi. Specie come il *Quercus ilex*, presenti in modo residuale in Pineta San Vitale, sono molto più abbondanti in Pineta di Classe.

I suoli Pirottolo sembrano essere invece ristretti ad alcune bassure nella parte meridionale e in vicinanza del Canale Fosso Ghiaia dove si osservano anche specie di alofite, riconducibili a suoli salini.

4.4. PINETA DI PINARELLA DI CERVIA

4.4.1. Principali aspetti del rilievo pedologico

Il rilevamento pedologico si è svolto in corrispondenza di tre transetti, individuati sulla base di condizioni vegetazionali e micromorfologiche distinte (figura 4.33). Su ogni transetto sono state eseguite 2 - 3 trivellate (punti P2, P3, P4, P5, P6 e P7), fino alla profondità di 1 metro o fino al livello di falda, qualora questo fosse più prossimo alla superficie.

In corrispondenza della stazione P1 è stato aperto un minipit per la descrizione del profilo pedologico.

Di ogni stazione è stata rilevata la vegetazione presente e la profondità di falda, qualora raggiunta.

In corrispondenza dei siti trivella sono state ricostruite le carote rappresentative del profilo e da queste sono state separate le aliquote di materiale corrispondenti alle profondità di 0 – 40 cm e 40 – 80 cm.

La profondità di campionamento adottata ha preso origine da quanto osservato nel profilo P1. In questo le radici sono state ritrovate prevalentemente entro una profondità di circa 38 cm, mentre, al di sotto, diminuiscono considerevolmente per sparire oltre i 67 cm di profondità.

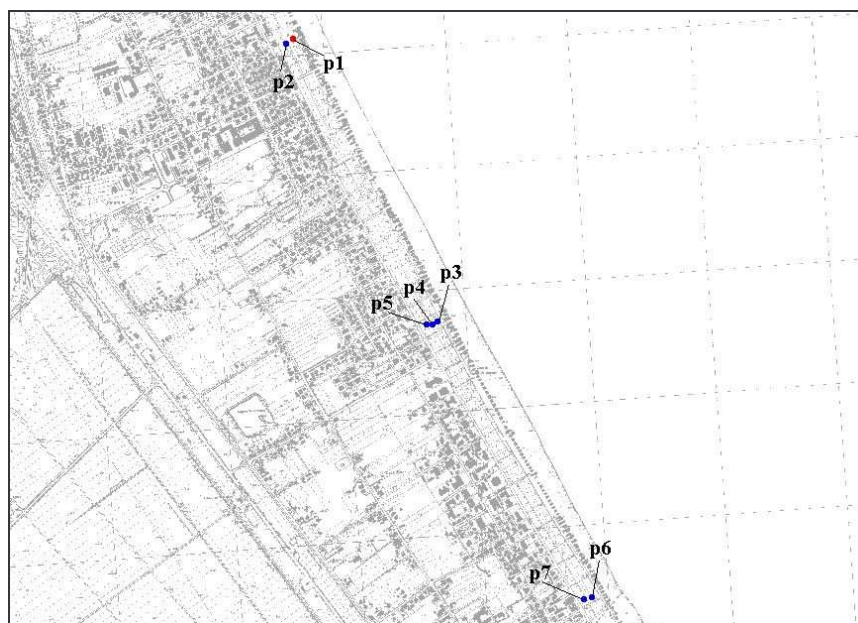


Figura 4.33. Localizzazione dei punti di campionamento del profilo e delle trivellate in Pineta di Cervia.

Da ciò si è optato per un rilievo 0 – 40 cm rappresentativo dello spessore di suolo in cui insistono gli apparati radicali trovando più idonee condizioni. Lo spessore di profilo 40 – 80 cm è stato considerato rappresentativo del substrato da cui trae origine il suolo. Tale orizzonte, di volta in volta, può risultare idoneo all'esplorazione degli apparati radicali o costituire fattore limitante al loro sviluppo.

Le aliquote delle carote sono quindi state campionate alle due distinte fasce di profondità, mentre il profilo è stato opportunamente descritto e campionato in ogni suo orizzonte. Alla profondità di 102 cm è stata raggiunta la falda, le cui acque sono state anch'esse campionate.

Nella tabella 4.23 sono riportate i punti delle trivellate, comprensivi di coordinate, osservazioni sulla vegetazione e profondità della falda.

Tabella 4.23. Caratteri delle stazioni di rilevamento sede di trivellate.

Punto	Coord. (UTM - WGS84 - Fuso 33)		Coperture vegetali naturaliformi		Profondità falda (cm)
	E (m)	N (m)	Tipo	codice	
P2	289838	4902532	Fustaie giovani di pino domestico	B3	Assente entro 100
P3	290376	4901355	Perticaie adulte di pino marittimo	B1	85
P4	290353	4901346	Perticaie adulte di farnia e frassino ossifillo	B6	Assente entro 100
P5	290330	4901346	Fustaie giovani di pino domestico	B3	Assente entro 100
P6	290925	4900186	Perticaie adulte di pino marittimo	B1	90
P7	290894	4900176	Fustaie giovani di pino domestico	B3	70

Le analisi chimiche eseguite sui campioni di suolo del profilo e delle trivellate e sul campione di acqua, sono mostrate rispettivamente in tabella 4.24 e 4.25 e vengono di seguito commentate.

Reazione – pH. I valori sono debolmente alcalini (P1, P7) e moderatamente alcalini in superficie, mentre negli orizzonti profondi sono da moderatamente a fortemente alcalini. L’effetto combinato della solubilizzazione e lisciviazione in profondità dei carbonati, unito alla maggiore presenza di materia organica negli orizzonti di superficie ha, con ogni probabilità, determinato tale situazione.

Calcare totale. I campioni analizzati sono quasi tutti estremamente calcarei, solamente nel primo orizzonte del profilo si osserva una leggera diminuzione riconducibile ad una iniziale decarbonatazione, ma l’orizzonte rimane comunque fortemente calcareo. Non si osservano per il resto variazioni significative né nel profilo né nelle trivellate. È da notare che qui si hanno i valori più alti di calcare totale riscontrati nelle quattro zone di studio.

Calcare attivo. risulta complessivamente medio ($1 - 35 \text{ g kg}^{-1}$) mentre in alcuni campioni (P4, P5, P7) tende a divenire elevato ($36 - 100 \text{ g kg}^{-1}$) (Titarelli et al., 1995). Rispetto al calcare totale il profilo e le trivellate P3 e P6 presentano valori di calcare attivo medio alti nell’interezza delle profondità considerate (calcare attivo compreso tra il 5 e il 10% dell’aliquota totale). Nelle altre trivellate si osservano anche alcuni campioni con valori molto alti ($>10\%$), solitamente gli stessi che presentano valori assoluti elevati.

Carbonio organico. In relazione alla tessitura sabbiosa denotata da tali suoli, il profilo presenta un tenore molto elevato di C. org. nel primo orizzonte che però scende rapidamente a quantitativi molto scarsi negli orizzonti profondi. Nella fascia

0 – 40 cm delle trivellate si osservano livelli da medi a molto scarsi eccetto il PZ7 avente valori molto elevati. Nella fascia 40 – 80 cm i tenori di carbonio sono sempre molto scarsi eccetto nel P4.

Il tenore molto elevato di C. org. nel primo orizzonte del profilo, è da imputarsi alla superficialità di questo (0-5 cm). La presenza di latifoglie nel sito del P4 sembra un poco contribuire in fatto di maggior apporto di sostanza organica, nell'aumento di C. org. rispetto ai siti vicini situati sotto lettiera di conifere.

Capacità di Scambio Cationico. Il profilo presenta un livello alto di CSC nel primo orizzonte che decresce a valori bassi verso il substrato e ritorna ad un valore medio nell'ultimo orizzonte. Le trivellate presentano in superficie (0-40 cm) valori medi ad eccezione del P3 (valore basso), mentre tra 40 e 80 cm il valori di CSC sono tutti bassi.

La CSC in suoli sabbiosi e poveri di argilla come questi è fortemente legata alla presenza di colloidali organici i quali spesso rappresentano la maggior parte della superficie scambiante. La stretta correlazione della CSC con il C. org. ($R = 0.9191$) viene a conferma di quanto detto.

CE 1:2.5. Nel profilo la CE si mantiene sempre all'interno di valori normali anche se si denota un leggero aumento nel primo orizzonte di superficie.

Nelle trivellate si osserva in superficie un valore leggermente alto nel P2 e normali in tutti gli altri siti. Nella fascia da 40 a 80 cm si osservano valori leggermente alti in P2 e P5, e normali in tutti gli altri.

Benché le distanze dei siti campionati lungo i transetti siano minime sembra esserci una diminuzione della CE attraverso la fascia della pineta in direzione del mare. Oltre al P1 anche nei siti P2 e P7 si osserva un leggero aumento della CE verso la superficie.

L'acqua di falda del profilo (tabella 4.25) presenta pH debolmente alcalino. La CE è tale da far ricadere lo stato chimico in classe 2. Lo stato ambientale che ne viene definito è scadente, mentre l'utilizzo irriguo di tale acqua comporta un alto rischio di salinizzazione del suolo.

Tabella 4.24. Sintesi dei dati chimico fisici ottenuti dalla caratterizzazione pedologica della Pineta di Pinarella di Cervia.

Profilo	Sigla oriz.	Profondità	Reaz. in H ₂ O	Calcare totale	Calcare attivo	C. org.	CSC	CE 1:2.5
		cm	pH	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	cmol·kg ⁻¹	dS·m ⁻¹
P1	A1	0-5	7.6	385	34	34.2	22.4	0.38
	A21	5-20	8.1	415	32	5.4	10.4	0.12
	A22	20-38	8.2	439	29	2.6	8.0	0.11
	C	38-67	8.4	450	28	1.1	6.6	0.12
	Cg	67-102+	8.5	447	24	1.1	13.2	0.21
Campioni trivellate								
P2		0-40	8.4	421	35	5.7	11.2	0.60
P2		40-80	8.7	429	49	2.1	9.0	0.58
P3		0-40	8.3	447	26	3.2	8.0	0.13
P3		40-80	8.4	439	26	1.2	7.3	0.13
P4		0-40	8.0	433	37	9.9	10.3	0.31
P4		40-80	8.5	433	52	5.1	8.9	0.47
P5		0-40	8.0	423	41	8.3	12.6	0.35
P5		40-80	8.5	423	56	4.3	8.1	0.59
P6		0-40	8.0	439	32	6.9	10.4	0.35
P6		40-80	8.5	443	39	1.6	7.4	0.25
P7		0-40	7.8	404	57	20.7	18.9	0.42
P7		40-80	8.2	440	37	1.6	8.1	0.20

Tabella 4.25. Analisi chimiche sulle acque di falda di Pineta di Pinarella di Cervia.

Campione	Profondità da p.c.	Reazione	CE	Salinità (1)	Stato chimico (2)	Rischio salinizzazione per uso irriguo (3)
	cm	pH	dS·m ⁻¹	g l ⁻¹		
Acque di falda del profilo						
P1	-102	7.7	1.80	0.88	Classe 2	Alto

1 : UNESCO, 1983

2 : Dlgs 152/2006 - Dlgs 152/99, All. 1 Tab. 20

3 : US Salinity Laboratory Staff, 1954; MiPAF, 2001

5. INFLUENZA DELLA PROFONDITÀ E DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE DI FALDA SULLA QUALITÀ DEI SUOLI

Al termine della caratterizzazione pedologica delle quattro aree di studio si è avvertita la necessità di approfondire alcuni aspetti legati alle modificazioni dello stato del suolo indotte da pressioni quali oscillazione del livello di falda, salinizzazione e sodicizzazione, esercitate dalle principali determinanti presenti sul territorio (andamento climatico, cuneo salino, azione delle idrovore ecc.).

È stata perciò intrapresa un'attività di monitoraggio di un'area di Pineta San Vitale, allo scopo di indagare:

- in quale misura la falda e i suoli siano interessati da fenomeni di salinizzazione;
- quanto la variazione nel tempo dei parametri chimici delle acque di falda influenzino i parametri chimico-fisici dei suoli;
- come le diverse proprietà delle matrici in oggetto si mettano in relazione tra loro.

Infatti solamente osservando l'andamento di queste variabili sul lungo periodo è possibile apprezzare quali siano i fattori che incidono maggiormente sullo stato dei suoli dell'area studiata.

5.1. INDAGINE AMBIENTALE E SCELTA DELLA ZONA DI STUDIO

Le vicende storiche relative alla Pineta di San Vitale descritte precedentemente (sottopar. 2.2.6) fanno emergere come la subsidenza sia uno dei principali fattori di criticità dell'area, soprattutto nella parte meridionale.

L'impiego delle idrovore per cercare di mantenere un adeguato franco di coltivazione nei suoli agricoli retrostanti ha portato ad una progressiva intrusione del cuneo salino e all'aumento di salinità della falda freatica. Tale fenomeno, osservato da Sandri (1974) sin dagli anni '60, è fenomeno da tempo conosciuto e monitorato (Aquater, 1988; Ugolini, 1996; Giambastiani, 2006). Le opere di mitigazione quali la chiusura di alcuni chiari delle piallasse (es. il chiaro del

Pontazzo) all'influsso diretto delle maree e l'immissione in questi dei canali della pineta hanno poi contenuto l'ingressione salina dalle acque superficiali ma non dalla falda più profonda (Giambastiani, 2006).

Lo studio svolto da Ugolini (1996), inoltre, ha fatto emergere come l'ecosistema pinetale risulti particolarmente sofferente nella zona sud, dove, l'avvicinamento della tavola d'acqua al piano di campagna unita alla salinizzazione di questa, si manifesta in tutta la sua criticità nei confronti della vegetazione non alofila e adatta a vivere in ambienti xero-termofili.

Le elevate concentrazioni di ioni in soluzione nelle acque di falda portano infatti ad una sodicizzazione del suolo che si riflette negli alti valori del tasso di assorbimento del sodio, e causano il deperimento delle essenze vegetali non alofile. La subsidenza provoca inoltre un innalzamento del livello di falda che tende in questo modo ad aumentare lo spessore del terreno saturo d'acqua e quindi non sufficientemente areato per le radici delle piante non specializzate come ad esempio il pino (Ugolini, 1996).

Studi recenti (Ranjan et al., 2006) hanno poi messo in evidenza come le piantumazioni arboree d'alto fusto situate in zone costiere (quali le pinete), contribuiscano a seguito dell'effetto di emungimento delle radici sull'acqua di falda, ad assottigliare lo strato di acqua dolce, avvicinando alla superficie piezometrica l'interfaccia tra acqua dolce e acqua salata.

Le considerazioni sopra esposte hanno portato ad individuare, come area di studio, la parte meridionale della pineta di San Vitale non solo perché è la più degradata, ma anche perché i risultati delle numerose campagne di monitoraggio a cui è stata soggetta in passato consentono di avere una data-set significativo, utile sia nel confronto tra i nuovi dati e quelli pregressi sia nella scelta dei siti di campionamento.

Questi ultimi sono stati scelti con l'intento di ricercare situazioni di suoli che potessero essere rappresentative sia di condizioni particolarmente critiche in fatto di salinizzazione e di saturazione idrica, ma anche di condizioni meno estreme, a scopo di confronto. A tal fine, per poter avere un quadro generale sulle profondità di falda dal p.c. e sui livelli di salinizzazione raggiunti nella zona sud della pineta, ci si è, in prima battuta, serviti dei dati della rete piezometrica del Comune di

Ravenna, costituita da 28 piezometri all'interno dell'area di Pineta San Vitale e Punte Alberete.

Osservando i dati raccolti durante il monitoraggio di Giambastiani (2006), sono stati individuati quattro piezometri significativi di riferimento: PZ1, PZ3, PZ4 e PZ7, situati nell'area meridionale della pineta, nell'intorno dei quali è stata effettuata l'indagine pedologica e l'attività di monitoraggio.

Le postazioni PZ3, PZ4 e PZ7 si trovano approssimativamente alla stessa distanza dalla piallassa del Pontazzo e presentano valori di CE della falda mediamente intorno a $30 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, mentre il piezometro PZ1, più distante dalla Piallassa, presenta valori di CE visibilmente inferiori (tabella 5.1).

Le profondità medie di falda da p.c. (figura 5.2) che presentano tali piezometri nell'arco di tempo monitorato da Giambastiani (2006), sono abbastanza variabili, ma si osservano generalmente per tutti e quattro le stesse fluttuazioni, peraltro abbastanza correlate con le precipitazioni mensili (figura 5.3).

Nel grafico di figura 5.2 sono riportate con linea tratteggiata le quote di p.c. dei 4 siti del rilevamento pedologico rispetto allo zero del p.c. dei rispettivi piezometri. È pertanto osservabile (figure 5.1 e 5.2) come i siti scelti in vicinanza dei piezometri PZ1 e PZ3 lascino entrambi presupporre la presenza di falda affiorante in parte dell'anno, ma salinità molto diverse. Tale scelta, non casuale, è stata fatta onde mettere a confronto due pedotipi aventi medesime caratteristiche morfologiche e diagnostiche, ma posti in diverse condizioni di salinizzazione dell'acquifero freatico.

Gli altri due piezometri, PZ4 e PZ7, sulle base degli andamenti delle profondità di falda (figura 5.2) sono stati ricondotti rispettivamente ad ambienti pedologici tipici dei suoli San Vitale e dei suoli Cerba.

Il brusco calo di CE nel PZ4 corrispondente a maggio 2005 è da imputarsi non ad un evento naturale ma ad uno “slug test”, ovvero una prova di conducibilità idraulica, eseguita nell'ambito del lavoro di ricerca di Giambastiani (2006).

Tabella. 5.1. Valori medi di profondità e conduttività elettrica della falda riferiti al periodo ottobre 2004-ottobre 2006 (Giambastiani, 2006).

Piezometro	E WGS84 (m)	N WGS84 (m)	Profondità falda da pdc (cm)	CE falda freatica a a 25 °C (mS·cm⁻¹)
PZ1	279238	4926987	-66.6	4.87
PZ3	280011	4927711	-87.7	32.02
PZ4	280190	4928514	-120.7	35.06
PZ7	280154	4929021	-67.8	25.52

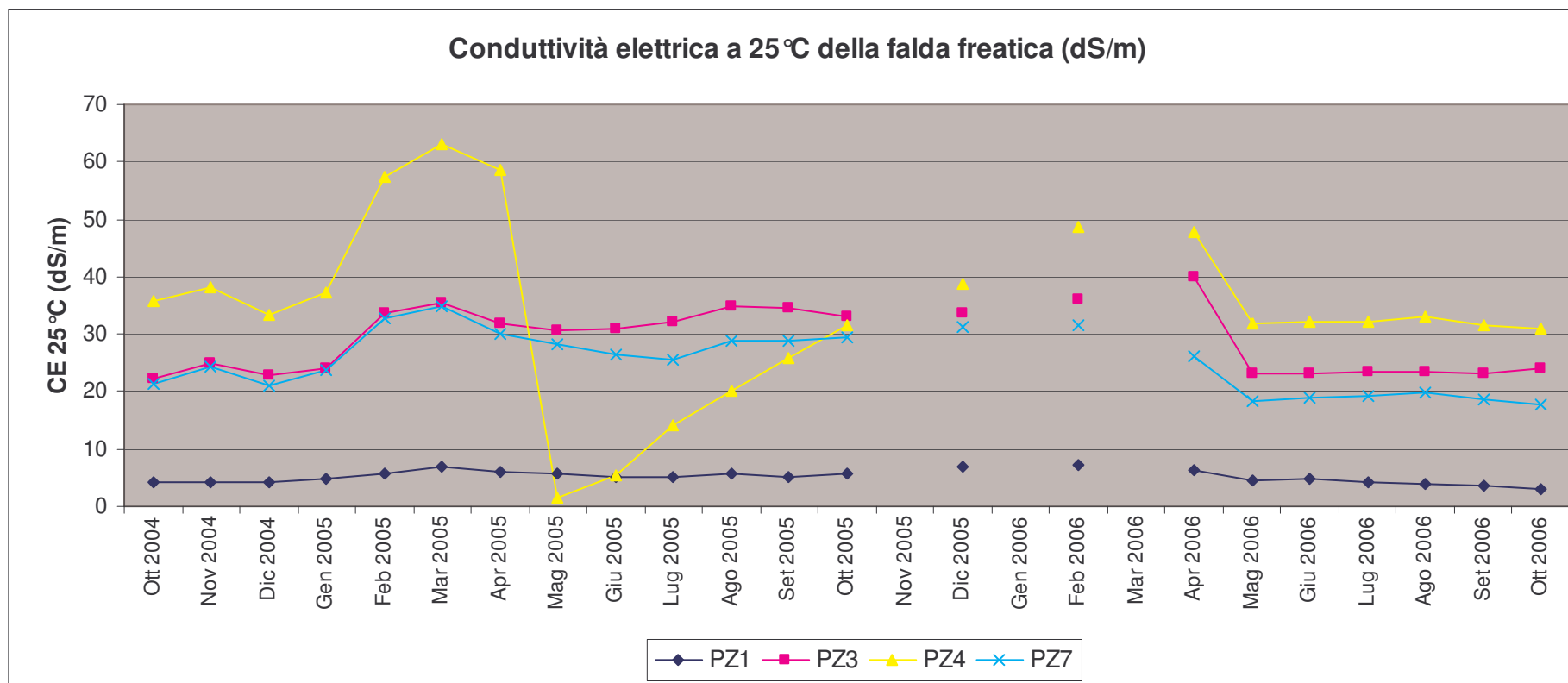


Figura 5.1 Andamento dei valori di conduttività elettrica della falda freatica misurati a 20 cm sotto il pelo dell'acqua (Giambastiani, 2006)

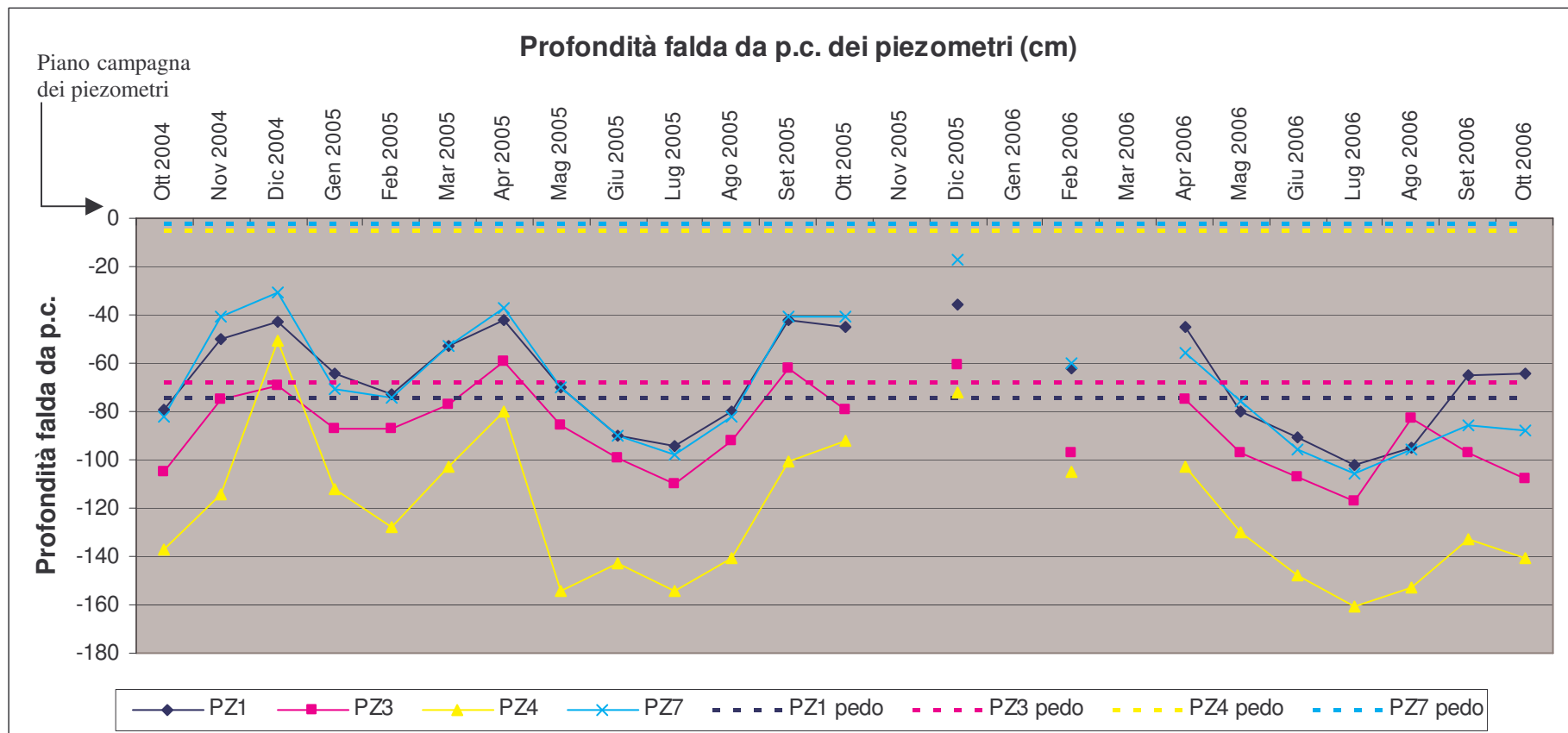


Figura 5.2. Andamento della profondità della falda freatica dal p.c. (Giambastiani, 2006). In linea tratteggiata sono indicate le quote del p.c. dei siti di rilievo pedologico rispetto al p.c. dei relativi piezometri.

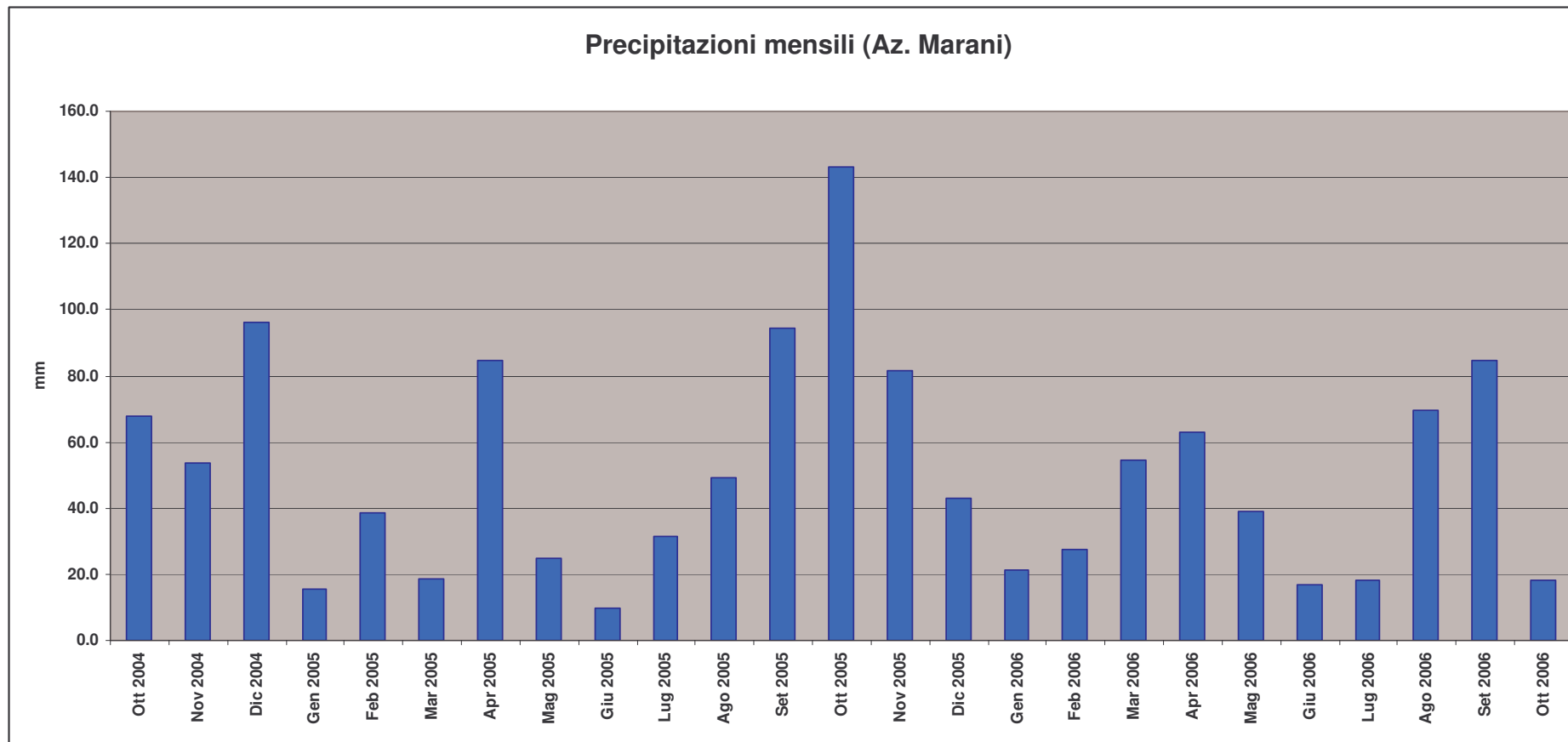


Fig. 5.3 Precipitazioni mensili registrati dalla stazione meteo dell'Azienda Sperimentale Marani (dati: ARPA - Dexter, <http://www.arpa.emr.it/>)

L'individuazione dei piezometri di riferimento è stata accompagnata dall'analisi della carta dei suoli realizzata nell'ambito della caratterizzazione pedologica (sottopar. 4.1.2). L'obiettivo è stato quello di individuare in corrispondenza di ciascun piezometro una diversa tipologia di suolo, in modo tale da poter analizzare come le componenti pedologiche si relazionino alle fluttuazioni ed alla salinità della falda.

Dalla sovrapposizione della carta dei suoli ai siti dei piezometri si è avuto una prima conferma di quanto ipotizzato dagli andamenti della profondità di falda per i quattro piezometri scelti. Si è visto il piezometro PZ1 ricadere su suoli Pirottolo, il PZ4 su suoli San Vitale ed il PZ7 su suoli Cerba. In posizione più incerta si è collocato il PZ3, ma considerando la forte variabilità pedologica all'interno della pineta, le difficoltà fotointerpretative e l'impossibilità di un rilievo su campo in ogni punto (sottopar 4.1.1), la posizione di questo e degli altri piezometri all'interno dei limiti cartografati è comunque indicativa. Solamente l'indagine in campo ha permesso di sancire l'esatto ambiente pedologico dei quattro piezometri.

5.2. INDAGINE PEDOLOGICA

L'indagine pedologica si è articolata in un primo momento con l'individuazione dei quattro piezometri e successivamente con la scelta di un sito idoneo vicino ad ognuno di essi ove aprire il profilo di riferimento.

Le quattro stazioni di rilevamento pedologico che di seguito saranno descritte sono già state incluse, per le loro caratteristiche principali, all'interno della caratterizzazione pedologica (cap. 4), finalizzata all'elaborazione della Carta dei Suoli.

In questo ambito ci si riserva di descrivere l'approfondimento dell'indagine pedologica relativa a questi quattro profili, finalizzando il tutto ai motivi di indagine enunciati all'inizio di questo capitolo.

5.2.1. Rilievo pedologico

Vengono ora descritte le caratteristiche ambientali riconducibili all'ambiente pedogenetico osservate per i quattro siti di indagine:

Sito PZ1. Il piezometro PZ1, posto nel margine Sud-Ovest dell'area di studio, nei pressi dello scolo Canala, è situato in una depressione interdunale nella quale

dominano i suoli Pirottolo. Dall'altro profilo rilevato in tale zona (Canala1), si è osservato una falda con CE leggermente alta e valori di CE ps crescenti verso la superficie, ad evidenziare un possibile accumulo di sali durante i periodi estivi. Gradienti di CE ps simili sono riportati anche da Piazzì (1988) in un profilo delle medesime bassure. Tuttavia i dati si riferiscono ad un solo momento temporale, per cui non si conoscono le dinamiche che avvengono lungo tutto il profilo pedologico in un lasso di tempo più ampio. Il profilo è stato aperto al centro della depressione interdunale a circa 9 m ad ovest dall'asta del piezometro, e ad una quota 74 cm più bassa (Allegato 1).

Sito PZ3. Il piezometro PZ3 situato in vicinanza dello scolo Fiumetto è posto ai margini di una bassura interdunale, dove all'interno di questa sono frequenti i suoli Pirottolo. A differenza del PZ1 però i valori di salinità della falda sono più alti, per via della vicinanza con la piallassa del Pontazzo (Giambastiani, 2006), il che lascia supporre valori di conduttività elettrica nel suolo mediamente superiori. Il profilo è stato aperto al centro della bassura, a circa 33 m a nord-ovest del piezometro e ad una quota 68 cm più bassa (Allegato 1).

Sito PZ4. Situato vicino alla piallassa del Pontazzo tra il PZ3 e il PZ7, è posto sulla sommità del cordone dunale più orientale della pineta. Si ipotizza quindi che in quest'area si possano trovare dei suoli San Vitale, come osservato nel profilo SV3 posto lungo il medesimo cordone poco più a nord. Anche se dalla carta pedologica la presenza di San Vitale è stata indicata non continua lungo il cordone. Nel caso di suoli profondi la distinzione tra San Vitale e Cerba risulta infatti difficoltosa in aree in cui le fluttuazioni della falda freatica sono piuttosto pronunciate durante l'anno. Per questo motivo una delle ragioni per cui si è scelto questo sito di indagine è chiarire il comportamento che può assumere nel tempo un suolo profondo in relazione alle variazioni della profondità e della conduttività della falda. Il profilo è stato aperto una decina di metri più a sud del piezometro ad un p.c. di 5 cm inferiore (Allegato 1).

Sito PZ7. Situato vicino allo scolo Via Cerba (a Nord) e alla Piallassa del Pontazzo (a Est) dove è molto probabile la presenza dei suoli Cerba. Questi ultimi, meno profondi dei San Vitale, in condizioni di falda molto alta vedono ridotta drasticamente la zona vadosa. Si è ritenuto interessante monitorare salinità e livello

di falda in tale sito in quanto potevano essere osservate situazioni intermedie tra i suoli dei siti PZ1 e PZ3 ed il suolo del PZ4. Il profilo è stato aperto a circa 10 m ad ovest del piezometro alla medesima quota di p.c (Allegato 1).

La posizione di ogni profilo è stata georeferenziata mediante GPS, mentre la quota del piano di campagna è stata ottenuta mediante livellazione, partendo dalla conoscenza della quota sul l.m.m. relativa alla cima dell'asta del piezometro.

In figura 5.4 è visualizzata la porzione meridionale di Pineta San Vitale comprensiva di cartografia pedologica, rete piezometrica ed i punti di apertura dei quattro profili.

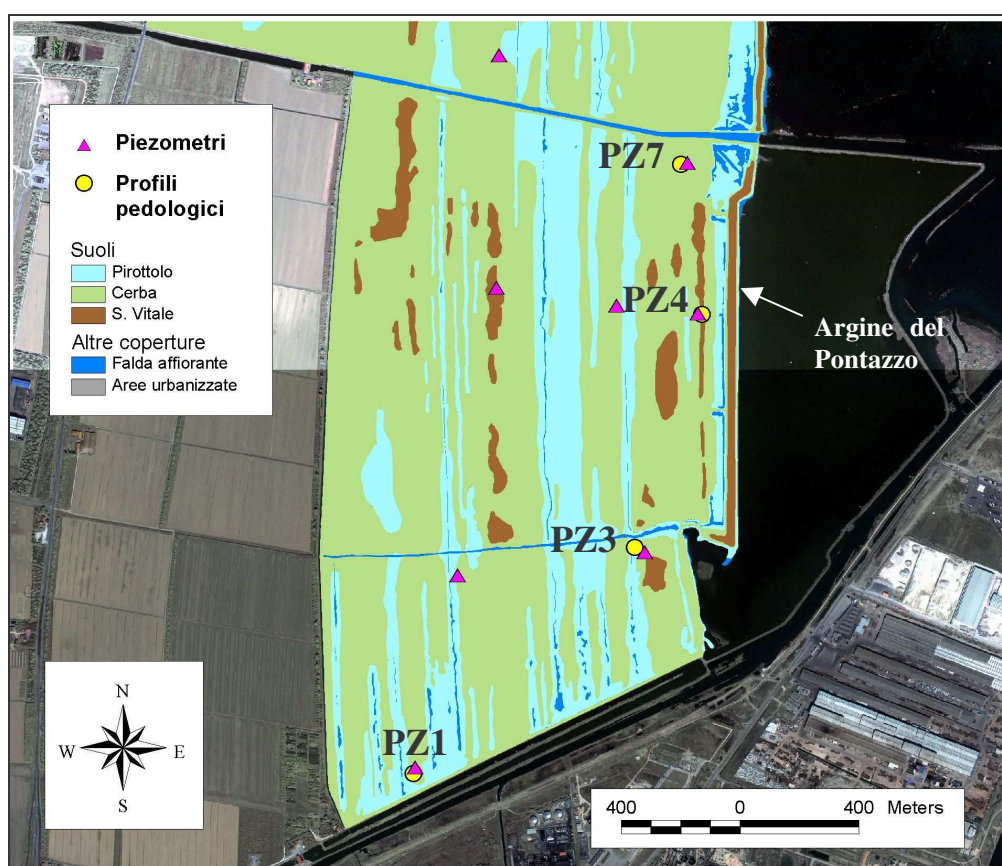


Figura 5.4. Porzione meridionale di Pineta San Vitale con cartografia pedologica, rete piezometrica e punti di apertura dei profili pedologici.

Stabiliti i siti i quattro profili sono stati aperti e descritti in apposita scheda pedologica seguendo le medesime modalità indicate per la caratterizzazione pedologica (sottopar. 3.2.2). Nell'ambito del campionamento si è invece proceduto con il prelievo di suolo all'altezza dei diversi orizzonti mediante l'utilizzo di

cilindri carotatori, onde determinarne alcune proprietà fisiche quali: densità apparente, densità reale, porosità e contenuto di umidità sulla percentuale di saturazione. Tali procedure sono contemplate nelle metodiche ufficiali di analisi indicate dal MiPAF (1997) sulla base del Supplemento Ordinario G.U. n. 173 del 2-9-1997.

Dopodiché si è proceduto con il normale prelievo di campioni di suolo da ogni orizzonte. Allo stesso modo sono stati prelevati i campioni dell'acqua di falda.

5.2.2. Materiali e metodi delle analisi di laboratorio

Nelle tabelle 5.2 e 5.3 sono rispettivamente mostrate le analisi di approfondimento eseguite rispettivamente sui suoli dei quattro profili e sulle acque di falda. Non sono state inserite nell'elenco le analisi eseguite sui medesimi profili e rispettive acque in fase di caratterizzazione pedologica. Per queste ultime si rimanda alla tabella 3.1 (cap. 3) per i metodi utilizzati, e, al sottoparagrafo 4.1.2. per la discussione dei risultati.

Buona parte delle analisi di approfondimento sono state eseguite per una caratterizzazione ad ampio spettro dei quattro profili e delle rispettive acque di falda al momento del primo campionamento (momento zero) effettuato il 2-5/02/2007. I parametri analitici più prettamente connessi a saturazione idrica e salinità del suolo nonché salinità della falda, sono stati invece oggetto di analisi nell'ambito di un monitoraggio mensile iniziato a marzo 2007 e terminato a gennaio 2008.

Tra i parametri analitici e derivati elencati nelle tabelle 5.1 e 5.2 vengono di seguito descritti brevemente quelli più significativi al fine dell'indagine.

Tabella 5.2. Analisi chimico fisiche di approfondimento sui suoli dei profili PZ1, PZ3, PZ4 e PZ7.

	Analisi di approfondimento				
	Analisi suoli e parametri derivati	Metodica: Suppl. Ord. G.U. n. 248 - Posizione internazionale	Strumentazione principale	Ambito	
				1° campion.	Monit.
	pH su estratto pasta satura	Non ufficiale	pH-metro		X
	Calcio carbonato attivo (calcare attivo)	Metodo n. V.2	Reagenti e vetreria da laboratorio	X	
	Fosforo assimilabile (P ass.)	Metodo n. XV.3	Spettrofotometro UV-VIS	X	
Basi di scambio	Ca ²⁺	Metodo n. XIII.5 – ISO 11260	FAAS Perkin Elmer AAnalyst 100	X	
	Mg ²⁺			X	
	K ⁺			X	
	Na ⁺			X	
	Capacità di Scambio Cationico (CSC)	Metodo n. XIII.2	Reagenti e vetreria da laboratorio	X	
	Grado di Saturazione Basico (GSB)	Metodo n. XIII.5.2		X	
	Exchange Sodium Percentage (ESP)	MiPAF, 2000		X	
	Percentuale di Saturazione (PS)	Metodo n. V.2		X	X
Basi solubili	Ca ²⁺	Metodo n. IV.2	FAAS Perkin Elmer AAnalyst 100	X	X
	Mg ²⁺			X	X
	K ⁺			X	X
	Na ⁺			X	X
	Sodium Absorption Rate (SAR)	(MiPAF, 2001)		X	X
Anioni solubili	Cl ⁻	Metodo n. IV.2 (1)	Cromatografia ionica (HPLC)	X	X
	SO ₄ ²⁻	Metodo n. IV.2 (2)			X
	HCO ₃ ⁻	Metodo n. IV.2	Reagenti e vetreria di lab., pH-metro		X
	Densità reale	Non ufficiale	Cilindri carotatori	X	
	Densità apparente	Suppl. ord. G.U. n. 173/1997 - ISO/DIS 11272		X	
	Porosità			X	
	Umidità (%)			X	
	% di acqua sulla CIM (3)	Non ufficiale		X	X
	Boro solubile	Metodo XVI.2	Vetreria boroesente, ICP-OES	X	
	Pot. matriciale (ψ_m)	Estrapolato da Saxton (2003)		X	
	Pot. osmotico (ψ_s)			X	
	Pot. idrico totale (ψ_t)			X	
	Componenti mineralogiche	Manuale dello strumento	Diffrattometro a raggi X Rigaku		X

1 : parte dei campioni sono stati analizzati col metodo 4090 A1 (APAT, IRSA-CNR, 2003)

2 : parte dei campioni sono stati analizzati col metodo 4140 B (APAT, IRSA-CNR, 2003)

3 : CIM rappresenta la Capacità Idrica Massima del suolo, equivale alla Perc. di Saturazione

Tabella 5.3. Analisi chimico fisiche di approfondimento sulle acque di falda dei profili PZ1, PZ3, PZ4 e PZ7.

Analisi di approfondimento					
	Analisi suoli e parametri derivati	Metodica: Manuali e linee guida 29/2003	Strumentazione principale	Ambito	
				1° campion.	Monit.
Basi solubili	Grado di reazione (pH)	Metodo 2060	pH-metro	X	X
	Conduttività elettrica (CE)	Metodo 2030	Conduttimetro	X	X
	Ca ²⁺	Metodo 3130	Assorbimento atomico a fiamma Perkin Elmer AAnalyst 100	X	X
	Mg ²⁺	Metodo 3180		X	X
	K ⁺	Metodo 3240		X	X
	Na ⁺	Metodo 3270		X	X
	Sodium Absorption Rate (SAR)	(MiPAF, 2001)		X	X
Anioni solubili	Cl ⁻	Metodo 4090 A1	Reagenti e vetreria da laboratorio	X	X
	SO ₄ ²⁻	Metodo 4140 B	Spettrofotometro UV-VIS		X
	HCO ₃ ⁻	Metodo 2010	Reagenti e vetreria da lab., pH-metro		X

Conduttività elettrica in pasta satura. Benché l'estratto in pasta satura sia di più difficile ottenimento rispetto ad un rapporto suolo acqua minore, la soluzione che si ottiene approssima sicuramente meglio le condizioni di saturazione alle quali si viene a trovare il suolo in natura (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954). Di conseguenza la CE che si determina non ha bisogno di eventuali fattori correttivi (Monteleone et al., 2003) per poter meglio essere confrontata con la maggior parte delle fonti bibliografiche.

La CE viene usata per la stima della salinità, un parametro importante perché condiziona notevolmente lo sviluppo dei vegetali, specialmente in fase di germinazione, anche per le specie forestali (Alaoui-Sossé et al., 1998; Ganatsas e Tsakalidimi, 2007). Un elevato valore di salinità ha lo stesso effetto di una carenza idrica: le piante non riescono ad assorbire acqua, e quindi nutrienti, a causa dell'elevata pressione osmotica applicata dalle radici sulla soluzione ad elevata concentrazione salina e nel peggiore dei casi vi è persino un richiamo di acqua dalla pianta al suolo, con il conseguente avvizzimento di questa (Casalichio, 2000).

Basi di scambio. Le basi di scambio sono costituite dai cationi (principalmente Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+), aventi reazione alcalina in acqua, i quali vanno a neutralizzare i siti a carica negativa del complesso di scambio presenti nelle fasi colloidali del suolo (MiPAF, 2000). Per gli scarsi contenuti di argilla nei suoli della pineta il complesso di scambio è dovuto in larga misura alla presenza o meno di sostanza organica.

Dal punto di vista nutrizionale le basi di scambio sono costituite da tre macronutrienti: Ca, Mg, K e dal Na che è un micronutriente (Casalicchio, 2000).

Le basi di scambio sono state determinate mediante estrazione in soluzione di cloruro di bario e trietanollammina tamponata a pH 8.2. Le soluzioni estratte sono state opportunamente diluite e sottoposte a lettura mediante tecnica FAAS (Flame Atomic Absorption Spectroscopy). Lo strumento utilizzato per la lettura è un assorbimento atomico Perkin Elmer AAnalyst 100.

Il campione da analizzare è aspirato mediante una pompa e nebulizzato, dopo di che viene atomizzato mediante combustione con una fiamma a miscela di aria e acetilene. Il campione atomizzato viene attraversato da un fascio monocromatico con lunghezza d'onda emessa da una lampada con catodo cavo costituito dal medesimo metallo che si vuole analizzare. La lunghezza d'onda emessa dal metallo del catodo viene assorbita dagli elettroni del guscio più esterno del medesimo elemento atomizzato, se presente nel campione.

Tabella 5.4. Lunghezze di emissione delle basi di scambio, limiti di rilevabilità e parametri strumentali del FAAS.

	Ca	Mg	K	Na
Wavelength emission (nm)	422.7	285.2	766.5	589.0
DL (mg/l)	0.07	0.007	0.02	0.015
Parametri strumentali				
Current lamp (mA)	20	20	12	12
Slit (nm)	0.70	0.70	0.70	0.20
Energy (1)	77 – 78	72 – 73	72 – 73	66 – 67
Air – Acetylene rate	10 – 3	10 – 3	10 – 3	10 – 3

1 : energia di risposta all'energia applicata alla lampada

Il livello di assorbimento del fascio monocromatico è in relazione con la concentrazione dell'elemento da analizzare in base alla legge di Lambert-Beer.

In tabella 5.4. sono riportate le lunghezze d'onda di emissione utilizzate per i quattro elementi analizzati, i rispettivi limiti di rilevabilità strumentale (detection limits = DL) ed i parametri di funzionamento dello strumento.

Exchangeable Sodium Percentage. L'ESP è un parametro che esprime la percentuale di sodio scambiabile sul complesso di scambio determinato dalla CSC. Risulta pertanto definito come:

$$ESP = \frac{[Na^+]}{CSC} \cdot 100$$

dove $[Na^+]$ e CSC sono espressi in $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$.

L'ESP è, assieme alla CE ps ed al pH, uno dei principali parametri atti a definire il livello di salinità dei suoli. Un ESP elevato implica un alto contenuto di sodio nel complesso di scambio che porta ad una deflocculazione dei colloidi con il conseguente peggioramento strutturale dei suoli. Il Na infatti, essendo uno ione monovalente non riesce, a differenza di Ca e Mg, ad avvicinare per effetto ponte i colloidi carichi negativamente. Inoltre, avendo un diametro maggiore ed essendo fortemente idratato, non riesce a saturare totalmente le cariche dei colloidi, impedendone così la creazione di una struttura (figura 5.5).

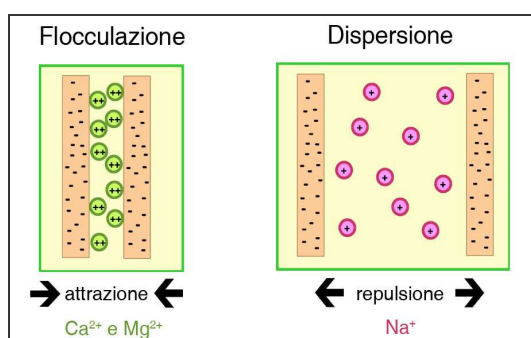


Figura 5.5. Effetto della presenza di sodio sulla dispersione delle particelle argillose.

Sulla base dei tre parametri sopra citati l'US Salinity Laboratory Staff (1954) classifica i suoli salini come riportato in tabella 5.5.

Tabella 5.5. Classificazione dei suoli salini secondo l'US Salinity Laboratory Staff (1954).

Tipo di suolo	CE pasta satura (dS m^{-1})	ESP	pH
Salino (non sodici)	> 4	< 15	< 8.5
Suoli alcalini (sodici)	< 4	> 15	> 8.5
Suoli salino-alcalini (salino-sodici)	> 4	> 15	< 8.5

I suoli salini si formano in genere nelle zone aride, dove le precipitazioni non sono sufficienti ad eliminare i sali che si formano durante la pedogenesi e dove l'acqua si allontana dal terreno prevalentemente per evapotraspirazione. Gli accumuli superficiali di sali sono più accentuati nelle aree caratterizzate dalla presenza di falde acquifere poco profonde (Giordano, 2002). Questi suoli sono caratterizzati da grandi quantità di sali in soluzione (sali solubili) come il cloruro di sodio (NaCl), il solfato sodico (Na_2SO_4), ma anche dei corrispondenti sali di Ca e di Mg. Tra i cationi scambiabili, invece, il sodio è l'elemento meno rappresentato.

I suoli alcalini hanno in genere $\text{pH} > 8,5$ e la causa risiede nell'idrolisi salina del carbonato di sodio (Na_2CO_3) o del bicarbonato di sodio (NaHCO_3) presenti nelle acque a contatto con questi suoli. Queste reazioni da un lato portano ad un aumento dei valori di pH della soluzione circolante, dall'altro liberano ioni sodio. L'elevata percentuale di sodio scambiabile è dovuta all'adsorbimento di una parte degli ioni sodio fino alla completa saturazione dei colloidi.

I terreni salino-alcalini si formano, invece, in seguito alla combinazione dei processi di salinizzazione e di alcalinizzazione.

Basi solubili. Le basi solubili rappresentano le componenti cationiche a reazione alcalina dei sali solubili, ovvero di tutte quelle specie chimiche aventi una solubilità più elevata di quella del gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) pari a $2,41 \text{ g/l}_{\text{H}_2\text{O}}$. Le basi solubili sono principalmente rappresentate dai cationi Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ .

I cationi solubili se presenti in eccesso possono portare a disordini nutrizionali nelle piante evidenziati da fenomeni di clorosi (MiPAF, 2000). Generalmente Ca, Mg e K essendo macronutrienti, possono condurre a squilibri nutrizionali solo se presenti in ingenti quantità. Il Na invece, come micronutriente, risulta essenziale per alcune specie vegetali, ma un aumento delle concentrazioni in soluzione circolante, generalmente in relazione ad ESP elevati, porta a progressive interferenze nell'assorbimento del K specialmente nelle specie non alofile,

limitando l'assorbimento di quest'ultimo (Alaoui-Sossé et *al.*, 1998; Casalicchio, 2000).

La determinazione delle basi solubili viene effettuata sull'estratto utilizzato per la determinazione della CE in pasta satura. Da tale estratto sono state prelevate le aliquote necessarie, che sono state quindi opportunamente diluite. La lettura dei campioni è stata poi eseguita in FAAS con le medesime modalità delle basi di scambio, seguendo per entrambi le indicazioni del MiPAF (2000).

Sodium Adsorption Ratio. Poiché la determinazione della percentuale di Na scambiabile è facilmente soggetta ad errori, in quanto sul risultato interferisce l'eventuale presenza di cloruro di sodio (molto solubile), nell'ambito della salinità assume particolare importanza il rapporto tra i principali cationi solubili (Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+}). Tale rapporto viene normalmente quantificato col parametro SAR (Sodium Adsorption Ratio):

$$\text{S.A.R.} = \frac{[\text{Na}^+]}{\sqrt{\frac{[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]}{2}}}$$

dove:
 Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} (cationi solubili)
 $(\text{mmol}_{(+)} \cdot \text{l}^{-1})$

Il SAR mette in relazione l'attività dello ione Na, negativa per il suolo, con l'attività degli ioni Ca e Mg, positiva per il suolo (MiPAF, 2001).

Alti valori di SAR ($\text{SAR} > 15$) indicano la presenza di elevate concentrazioni di sodio in soluzione e il rischio di una potenziale sodicizzazione del suolo (US Laboratory Salinity Staff, 1954).

Anioni solubili. Rappresentano la parte anionica dei sali solubili. Gli anioni maggiormente presenti sono Cl^- , SO_4^{2-} e HCO_3^- che combinandosi con le diverse basi solubili (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) ne determinano i rispettivi prodotti di solubilità. Questi tre anioni se presenti in eccesso possono dar luogo a disordini nutrizionali delle piante al pari dei corrispettivi cationi (Saur et *al.*, 1995; Barbolani et *al.*, 1997; Alaoui-Sossé et *al.*, 1998).

Conoscere le proprietà e le quantità sia dei cationi e degli anioni in soluzione sia delle basi di scambio è importante perché consente di ipotizzare quanti e quali ioni siano potenzialmente disponibili per essere assorbiti dalle piante (Sequi, 1989).

Gli anioni Cl^- ed SO_4^{2-} , dell'estratto in pasta satura sui suoli, sono stati analizzati solamente in parte mediante HPLC (High Performance Liquid Chromatography), come indicato dalla metodica ufficiale (tabella 5.2). Nell'impossibilità di utilizzo dell'HPLC, per la maggior parte dei campioni si è rivelato più celere analizzare gli anioni Cl^- ed SO_4^{2-} utilizzando i metodi indicati per le acque (tabella 5.3), ossia rispettivamente: il metodo per titolazione argentometrica (4090 A1) ed il metodo spettrofotometrico con $\lambda = 450 \text{ nm}$ (4140 B).

Benché il metodo della titolazione argentometrica per i cloruri e quello torbidimetrico in spettrofotometria per i solfati, siano stati utilizzati anche in lavori recenti di caratterizzazione delle specie solubili in pasta satura (Alvarez et al., 2007), resta il fatto che l'HPLC fornisce risultati più precisi ed accurati. Si è pertanto sentita la necessità di mettere in relazione i dati di Cl^- ed SO_4^{2-} ottenuti mediante HPLC con quelli ottenuti dai rispettivi metodi più tradizionali per poterne ricercare una correlazione. Su un set di 28 campioni è stata eseguita la doppia determinazione analitica ed i dati ottenuti per le due specie chimiche sono stati messi a confronto. Come visualizzato dai grafici (figura 5.6) è stato possibile determinare una buona curva di regressione sia per i cloruri che per i solfati, con la restituzione di coefficienti di determinazione prossimi ad 1 per entrambi. Le equazioni di regressione sono state poi utilizzate come coefficienti correttivi da applicare ai valori di cloruri e solfati ottenuti con le metodiche APAT, IRSA-CNR. I valori (non ottenuti con HPLC) riportati come risultati, sono stati pertanto corretti nel suddetto modo.

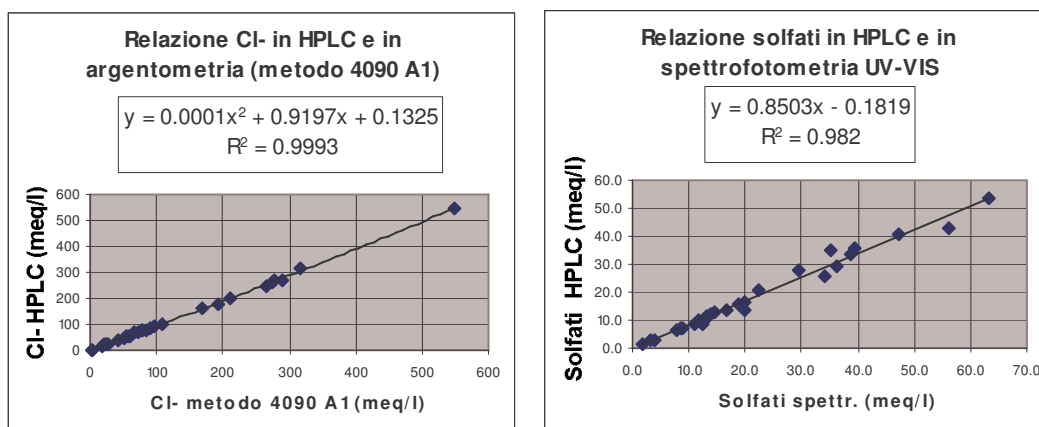


Figura 5.6. Curva di regressione ottenuta tra cloruri determinati in HPLC e determinati con titolazione argentometrica (sinistra). Curva di regressione tra solfati determinati in HPLC e determinati con spettrofotometro UV-VIS (destra).

Boro solubile. Si intende quella frazione di boro assimilabile per le piante. L'assimilabilità del boro diminuisce, più o meno drasticamente, all'aumentare del pH (Gupta, 1979) in particolare per $\text{pH} > 6.3 - 6.5$ (Gupta e Cutcliffe, 1972; Wear e Patterson, 1962) e i sintomi di carenza sulle specie vegetali si evidenziano all'aumentare del pH.

Il B può diventare tossico per molte specie a valori di poco superiori a quelli considerati ottimali. Tra i suoli su cui possono manifestarsi eccessi di boro vi sono quelli derivati da sedimenti marini (suoli salso sodici). Alcuni studi mostrano come il boro, in presenza di sali tipicamente presenti nelle acque di mare come il cloruro e il solfato di sodio, alteri la permeabilità delle membrane cellulari pregiudicando la sopravvivenza di essenze vegetali come il pino (Apostol *et al.*, 2002).

Studi sul boro idrosolubile sono già stati svolti in Pineta di San Vitale e Pineta di Classe da Sandri e Casalicchio (1970), anche se con l'applicazione di una metodica diversa da quella consigliata dal MiPAF (2000).

Il B solubile è stato ottenuto mediante estrazione a caldo del campione in soluzione di cloruro di calcio e successivamente analizzato mediante tecnica ICP-OES, per la cui trattazione si rimanda al cap. 6.

Potenziale idrico totale. Misura l'energia potenziale posseduta dall'acqua presente nel suolo, in riferimento alle condizioni dell'acqua libera (che, per definizione, ha potenziale zero). Questo parametro è impiegato per quantificare il

lavoro che le piante devono compiere per l'assorbimento radicale e per tale ragione viene indicato con valore negativo. Il potenziale idrico è la risultante del concorso di più componenti tra cui il potenziale di riferimento dell'acqua libera (convenzionalmente uguale a zero), il potenziale matriciale, osmotico, gravitazionale ed altri potenziali. Poiché questo lavoro è centrato sullo studio della parte non satura di suoli soggetti a fenomeni di salinizzazione, il potenziale idrico verrà considerato come sommatoria dei soli potenziali di matrice e osmotico. In particolare il potenziale matriciale (ψ_m) è espressione delle forze che attraggono e legano l'acqua sia sotto forma pellicolare, sui costituenti del terreno (sostanza organica, radici, ecc.), sia sotto forma di acqua capillare, presente nei pori più sottili. Per questo motivo assumerà valori tanto più alti (tanto più negativi) quanto maggiore è, ad esempio, la sostanza organica o la componente argillosa presente nel suolo. Il potenziale osmotico o di soluto (ψ_s) invece, è espressione di forze dovute alla presenza di soluti che abbassano l'energia potenziale dell'acqua. Le molecole dipolari dell'acqua, in presenza di specie cationiche o anioniche tendono infatti ad orientarsi e a subire azioni attrattive/repulsive che, anche se deboli ed agenti soltanto su piccole distanze, riducono l'attività delle molecole di acqua provocando conseguentemente un abbassamento dell'energia potenziale. È chiaro quindi che un alto contenuto di sali solubili nel suolo comporta un potenziale osmotico più alto (più negativo) e, di conseguenza, le piante dovranno compiere un lavoro maggiore per estrarre acqua dal suolo (Sequi, 1989).

Il potenziale idrico totale è espresso pertanto nei seguenti termini:

$$\psi_t = \psi_o + \psi_m + \psi_s$$

dove:

ψ_t = potenziale idrico totale (kPa)

ψ_o = potenziale di riferimento della acqua libera (assunto pari a zero)

ψ_m = potenziale di matrice (kPa)

ψ_s = potenziale osmotico (kPa)

Nel suolo la relazione esistente tra il contenuto di umidità ed potenziale idrico viene espressa dalla curva di ritenzione (Violante, 2005; Sequi, 1989). L'acqua alla capacità idrica massima presenta un potenziale prossimo allo zero, alla capacità di campo il potenziale varia da -10 kPa (suoli sabbiosi) a -50 kPa (suoli argillosi), mentre, col progressivo diminuire dell'umidità, si giunge al limite oltre il quale la maggior parte delle piante non riesce più ad assorbire acqua dal suolo. Tale limite corrisponde a -1500 kPa e viene detto punto di appassimento (Violante, 2005).

Componenti mineralogiche. Su alcuni campioni è stata eseguita una determinazione qualitativa delle varie componenti mineralogiche mediante l'utilizzo di diffrattometro a raggi X Rigaku Miniflex.

Il principio del diffrattometro si basa sul fatto che un fascio monocromatico di raggi X che attraversa un minerale è spostato dagli atomi che costituiscono il minerale stesso. Ad uno specifico angolo di incidenza, i raggi X sono in fase e producono un fascio secondario intensificato. Questo fenomeno si conosce con il nome di diffrazione che può essere rappresentata come una riflessione del fascio di raggi X sul piano degli atomi.

Il fascio diffratto si chiama riflessione del primo ordine (figura 5.7 a) quando la differenza della distanza percorsa dai raggi X spostati da due strati di atomi adiacenti, uguaglia una lunghezza d'onda. La diffrazione si presenta anche quando la differenza di cammino dei raggi X uguaglia due lunghezze d'onda. Il fascio risultante si chiama riflessione del secondo ordine (figura 5.7 b). Riflessioni di ordine maggiore si hanno ogni volta che la differenza del percorso è pari ad un numero multiplo intero della lunghezza d'onda.

La legge generale che descrive la riflessione dei raggi X è data dall'equazione di Bragg, espressa nel seguente modo:

$$n\lambda = 2d \sin\theta$$

dove:

n = numero intero;

λ = lunghezza d'onda RX;

d = distanza tra i piani di atomi (Å);

θ = angolo di incidenza;

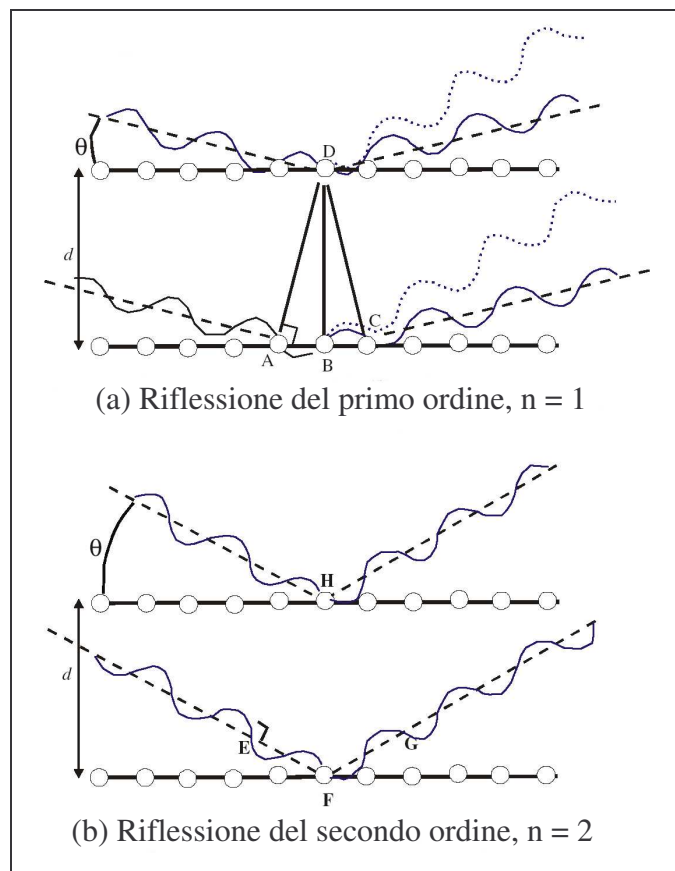


Figura 5.7. Diffrazione dei raggi X da strati di atomi adiacenti.

5.2.3. Discussione risultati 1° campionamento

Il primo rilievo è stato effettuato nelle date del 2 e 5 febbraio 2007. A tale rilievo è seguito un monitoraggio mensile prolungatosi sino a gennaio 2008.

Le informazioni dedotte dall'indagine pedologica del primo rilievo hanno permesso di avere un quadro completo delle principali caratteristiche dei suoli oggetto di studio e fotografare lo stato in cui si trovano i quattro siti al “momento zero”.

Per ogni profilo vengono riportate le osservazioni più significative svolte in campo durante il rilevamento, a cui fanno seguito i risultati delle analisi chimico fisiche effettuate in questo primo rilievo e la loro discussione. Nell'ambito della discussione dei parametri analitici, il giudizio qualitativo fa riferimento alla bibliografia riportata nelle tabelle 3.2 e 3.3 (cap. 3).

Profilo PZ1. Il sito si trova in un'area pianeggiante posta sotto il livello medio del mare (-0,28 m s.l.m.) e in cui dimora una fitta vegetazione arbustiva (biancospino e rovo) oltre ad alcuni esemplari di farnia. Questi elementi giustificano l'abbondante presenza di spoglie vegetali che compongono la lettiera superficiale.

L'osservazione del profilo e le analisi (tabelle 5.6, 5.7 e 5.8) confermano che la morfologia, la fitta vegetazione e le fluttuazioni della falda freatica sono i principali fattori che dominano la pedogenesi di questo sito. Dalla scheda pedologica presente in Allegato 1, si osserva come l'orizzonte organominerale A abbia una colorazione brunastra riconducibile ad un'elevata presenza di sostanze umiche. Questo in virtù della notevole quantità di residui vegetali che si accumulano in superficie e si trasformano lentamente. L'andamento pressoché orizzontale degli apparati radicali testimonia che la falda freatica è assai prossima al piano di campagna. I primi segnali si denotano già nell'orizzonte di transizione A/C, nel quale la colorazione olivastra e i primi accenni di screziature rossastre indicano che tale orizzonte, venendo temporaneamente sommerso dalle acque, cambia le proprie condizioni ossido-riduttive.

Infine, gli orizzonti profondi, evidenziano marcate screziature la cui presenza è indicatrice di temporanee situazioni di migliore circolazione gassosa con precipitazione di forme di Fe^{3+} , come si osserva nell'orizzonte Cg_1 , che si alternano a condizioni di ristagno idrico temporaneo con riduzione e mobilizzazione di Fe^{2+} , come evidenzia l'orizzonte Cg_2 che in effetti si trova alla stessa profondità del livello freatico (24 cm da p.c.).

Dalla tabella 5.6 si osserva come la tessitura sia sabbiosa franca lungo tutto il profilo. Come per molte altre bassure è possibile che le temporanee sommersioni di queste zone contribuiscano ad apportare modeste quantità di limo al suolo.

I carbonio organico molto elevato in superficie contribuisce probabilmente all'abbassamento del pH nel primo orizzonte, rendendolo solo debolmente alcalino. L'assenza di calcare totale ed attivo indicano inoltre l'avvenuta decarbonatazione, legata all'effetto acidificante della sostanza organica. Il pH si porta a valori moderatamente o fortemente alcalini negli orizzonti sottostanti, i quali si presentano tuttavia scarsamente o debolmente calcarei. Il calcare attivo, frazione

più prontamente solubilizzabile del carbonato di calcio è presente solo in profondità. Rappresenta comunque percentuali ritenute molto alte rispetto al contenuto totale, almeno dal punto di vista agronomico (MiPAF, 2006).

L'N totale segue all'incirca il trend di diminuzione dalla superficie alla profondità del carbonio, rendendo l'orizzonte A eccessivamente dotato, ma mediamente poveri e poveri gli orizzonti inferiori. Il rapporto tra i due elementi (C/N) è > 10 in tutti gli orizzonti del profilo. Questo indica che l'umificazione della sostanza organica è ostacolata da cause avverse (Barbiroli *et al.* 2000) e le caratteristiche chimico-fisiche-biologiche del mezzo non sono delle più idonee per regolare lo sviluppo dei vegetali. L'ulteriore aumento del C/N in profondità è indice di condizioni ancora peggiori, ma tipiche di suoli che presentano idromorfia (Duchaufour, 1983), dove le condizioni asfittiche (presenza di falda) impediscono l'umificazione.

Il fosforo assimilabile dalle piante è generalmente presente in aliquote basse o molto basse ed i valori non sono molto diversi da quelli osservati da Piazzì (1988) per suoli simili.

Il K scambiabile, che assieme alla forma solubile rappresenta l'aliquota assimilabile per le piante (Sbaraglia e Lucci, 1994), risulta molto alto nell'orizzonte A, alto nei due orizzonti intermedi e medio nell'orizzonte più profondo (MiPAF, 2006).

La CSC si presenta alta nel primo orizzonte, media nell'orizzonte A/C e bassa negli orizzonti inferiori. Come già osservato nei profili di Pineta di Pinarella (sottopar. 4.4.1), la CSC è in relazione con il tenore di C org. in quanto, i colloidi organici, costituiscono gran parte della superficie del complesso di scambio.

Poiché la decarbonatazione del primo orizzonte non si traduce in una diminuzione sensibile del pH, le basi saturano completamente il complesso di scambio anche in superficie (GSB = 100).

La presenza del sodio sul complesso di scambio determina un ESP leggermente alto nell'orizzonte A e nei due orizzonti più profondi. Il secondo orizzonte presenta un ESP alto, ma comunque al di sotto del 15 % (tabella 5.5). L'ESP a tali livelli, almeno da un punto di vista agronomico, non desta particolari problemi.

Lungo il profilo la CE ps si presenta leggermente alta nell'orizzonte più superficiale ed alta negli orizzonti sottostanti, riconducibile a suoli molto salini (Barbiroli et al., 2000).

Dai dati osservati relativi a pH, ESP e CE ps gli orizzonti del profilo PZ1 possono essere classificati secondo tabella 5.5 come segue:

orizzonte A: non salino;

orizzonte A/C: salino (ma con pH > 8.5);

orizzonte Cg₁: salino;

orizzonte Cg₂: salino;

La percentuale di acqua necessaria a portare il suolo in saturazione idrica, espressa in percentuale di peso d'acqua su peso di suolo (PS %) è maggiore nel primo orizzonte e diminuisce negli orizzonti sottostanti. Tale parametro è in relazione con il contenuto di materia organica, la quale, per mezzo dei colloidi, favorisce la formazione di struttura del suolo, aumentando il volume effettivo di spazi vuoti all'interno del mezzo. I valori di tale parametro sono pertanto superiori dove si hanno tenori maggiori di C org.

Il SAR (tasso di assorbimento del sodio) si attesta su valori medi lungo l'intero profilo, vi è pertanto un apprezzabile pericolo di sodicizzazione, legato soprattutto al pessimo drenaggio di tale suolo e, per quanto riguarda il primo orizzonte, all'elevata superficie di scambio disponibile per l'adsorbimento dell'Na⁺.

Secondo le indicazioni di Barbiroli et al. (2000), le aliquote di cloro solubile sono ottimali dal punto di vista agronomico.

Il boro solubile riscontrato nel primo orizzonte risulta essere eccessivo per le piante, mentre molto alta risulta essere l'aliquota di boro nel secondo orizzonte (A/C), ed alte quelle degli orizzonti inferiori. Questo significa che, perlomeno nell'orizzonte A, il livello di boro risulta tossico in diversa misura per le specie presenti. Il contenuto di B solubile aumenta in superficie parallelamente al C org.

I campionamenti svolti da Sandri e Casalicchio (1970) sui suoli delle bassure interdunali di Pineta San Vitale evidenziavano anch'essi un aumento di tale elemento verso la superficie in rapporto col contenuto di sostanza organica, tuttavia le aliquote si presentavano con valori inferiori (alto nel primo orizzonte, da medio a molto basso negli orizzonti inferiori). Inoltre nel medesimo lavoro si osservava un

leggero aumento di B negli orizzonti prossimi alla falda o a contatto con essa, trend non riscontrato nei profili delle bassure (PZ1 e PZ3).

La densità apparente è $< 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ nel primo orizzonte per via dell'elevato volume di spazi vuoti legati alla presenza della sostanza organica. La densità apparente aumenta procedendo negli orizzonti profondi, mentre la densità reale rimane pressoché costante.

Dai dati estrapolati mediante l'utilizzo del modello "Soil water characteristics" (Saxton, 2003) si osserva che il potenziale matriciale si approssima a zero negli orizzonti saturi e buona parte del potenziale idrico totale è costituito dal potenziale osmotico. Quest'ultimo tuttavia non è molto negativo per via del fatto che l'umidità, anche nei primi orizzonti, è molto alta. Inoltre la salinità non raggiunge valori così elevati da rendere critico tale parametro per le piante.

La capacità di acqua disponibile per le piante (AWC), determinata tramite Saxton (2003) per ogni orizzonte, è molto bassa tranne nell'orizzonte A, ricco in materia organica.

Un ulteriore proprietà determinata, inerente all'umidità del suolo, è l'acqua sulla capacità idrica massima (CIM). Tale parametro determina la percentuale (su volume) del contenuto d'acqua presente nel suolo rispetto alla saturazione idrica (CIM).

Dalla tabella 5.8 si osserva che, a parte l'orizzonte A, gli altri orizzonti tendono ad essere prossimi alla saturazione idrica.

L'analisi al difrattometro è stata eseguita sull'orizzonte A. Dal difrattogramma (figura 5.8) si osservano abbastanza chiaramente i principali picchi del quarzo (SiO_2), con una buona percentuale di accordo ("score"). secondariamente si osservano alcuni picchi dell'albite (plagioclasio sodico: $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$). È riconoscibile, a basso angolo 2θ , anche il principale picco della muscovite. Questi tre minerali sono tipicamente presenti nelle sabbie litoranee. Tuttavia mentre il quarzo e l'albite sono minerali residuali (poco alterabili e per questo estremamente diffusi in un dato ambiente), la muscovite appartiene alla classe dei minerali di neoformazione (autigeni). Questi ultimi si formano in ambiente sedimentario, durante le fasi di degradazione, trasporto, sedimentazione e

diagenesi. Il gruppo più rappresentato è quello dei minerali argillosi (silicati idrati di Al, Fe, Mg) che sono tutti fillosilicati, tra cui figura la muscovite. Non si osserva invece nessun picco della calcite, altro minerale di neoformazione tipico di tali ambienti. L'assenza della calcite va a supportare l'ipotesi della decarbonatazione pressoché totale del primo orizzonte superficiale, come già evidenziato dall'assenza di calcare totale.

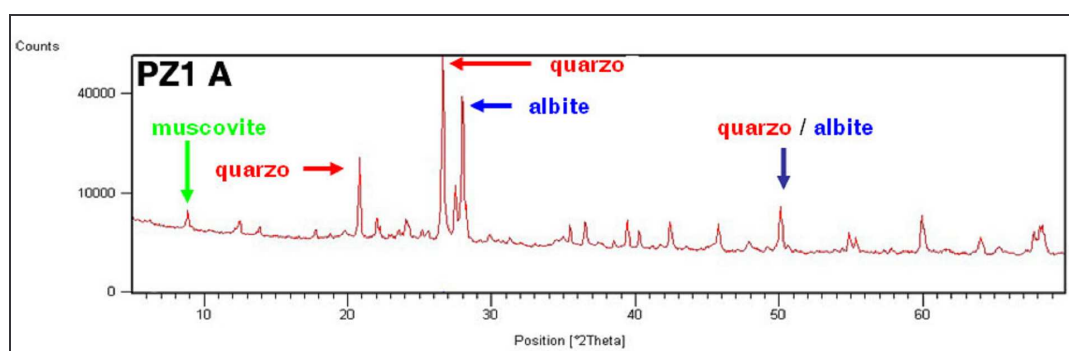


Figura 5.8. Difrattogramma del campione relativo all'orizzonte A del profilo PZ1.

Per indagare la possibile presenza di condizioni riducenti negli orizzonti più profondi si è proceduto con la determinazione del potenziale redox (Eh) e del pH nella soluzione del suolo, grazie ai quali è possibile calcolare il fattore rH utilizzando la formula:

$$rH = \frac{Eh}{29} + 2pH$$

dove:

rH = potenziale redox corretto secondo il pH (mV);

Eh = potenziale redox misurato (mV);

pH = valore del pH misurato

Se il valore di rH è minore o uguale a 19 è possibile affermare che nel suolo si instaurino condizioni riducenti (FAO, 1998).

Poiché le acque di falda del profilo PZ1 presentano un Eh = -182 mV e un pH = 7.6, il valore di rH risulta essere pari a 8.9 mV e, per questa ragione, si può affermare che il suolo sviluppi proprietà gleyiche, tipiche di ambienti di transizione, periodicamente sommersi dalle acque di falda (figura 5.9).

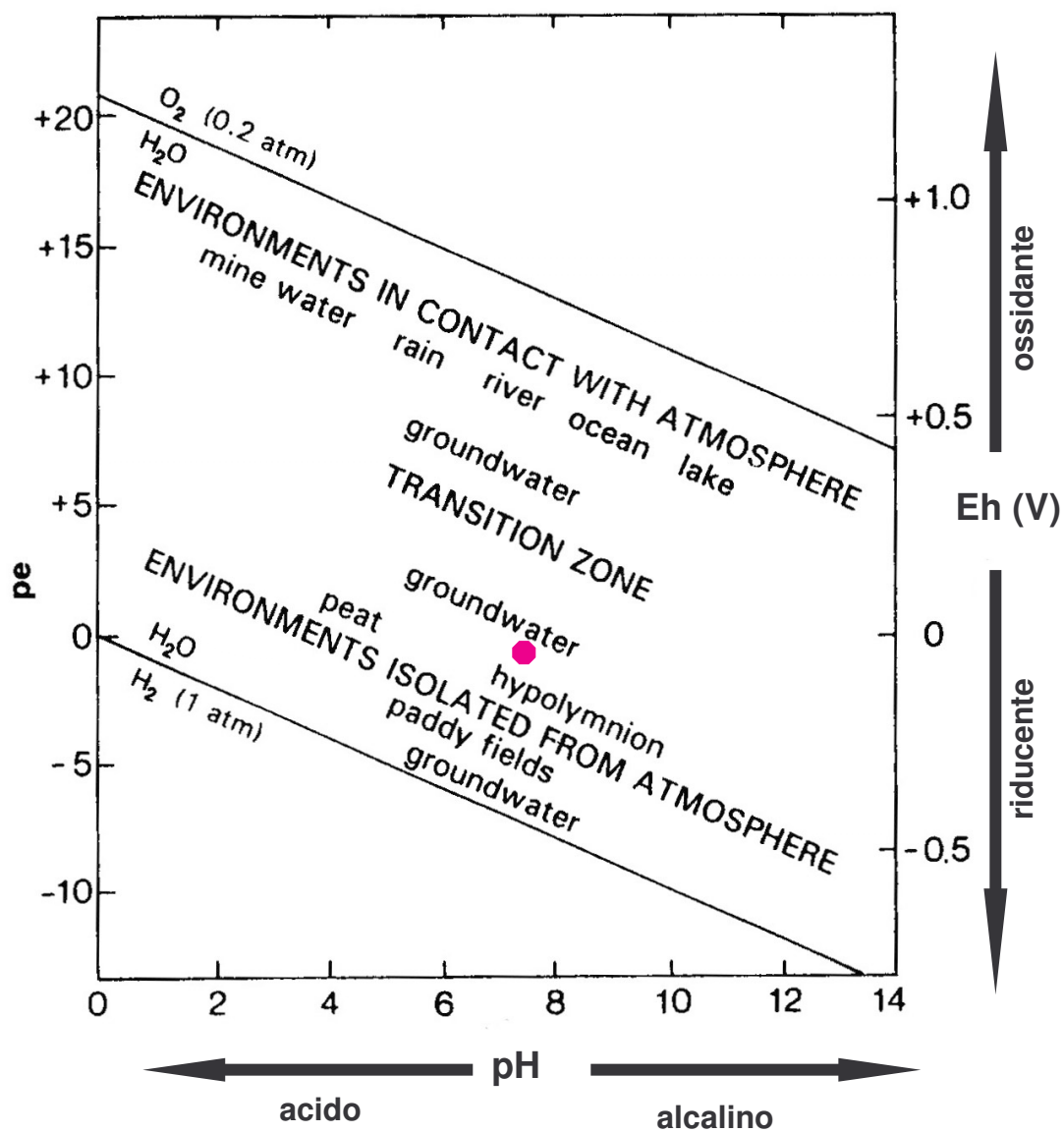


Figura 5.9. Diagramma Eh-pH di ambienti naturali (Merkel e Planer-Friedrich, 2005). In viola è indicato il punto di incontro tra il valore del $pH = 7.7$ e quello di $Eh = -0.182$ mV

Tabella 5.6. Analisi chimico fisiche del profilo PZ1.

													basi di scambio						
Orizzonte	Profondità	Sabbia*	Limo*	Argilla*	Tessitura	Reaz. in H ₂ O	Calcare totale	Calcare attivo	C _{org.}	N _{totale}	C/N	P _{ass.}	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	CSC	GSB	ESP
	cm	g·kg ⁻¹			USDA	pH	g·kg ⁻¹					mg·kg ⁻¹	cmol ₍₊₎ ·kg ⁻¹				%		
A	0-10/13	812	150	38	SF	7.8	0	0	42.7	4.0	11	3	26.4	5.7	0.7	2.5	35.3	100	7.0
A/C	10/13-18/20	807	146	48	SF	8.7	15	0	12.4	1.1	11	1	13.0	2.5	0.5	2.1	18.0	100	11.8
C _{g1}	18/20-24	826	136	38	SF	8.1	7	1	7.5	0.5	16	1	8.3	1.2	0.5	0.9	11.0	100	8.5
C _{g2}	24-45+	852	109	40	SF	8.4	27	5	6.0	0.3	18	7	5.7	1.1	0.3	0.7	7.8	100	9.4

Tabella 5.7. Analisi chimico fisiche del profilo PZ1.

							Basi solubili						
Orizzonte	Profondità	Sabbia*	Limo*	Argilla*	C.E.	P.S.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SAR	Cl ⁻	Boro solubile
	cm	g·kg ⁻¹			dS·m ⁻¹	%	mmol ₍₊₎ ·kg ⁻¹					mmol ₍₊₎ ·kg ⁻¹	mg·Kg ⁻¹
A	0-10/13	812	150	38	2.76	61.8	2.0	1.7	0.8	13.5	12.6	5.5	7.8
A/C	10/13-18/20	807	146	48	5.30	40.3	1.9	1.5	0.5	10.6	12.9	12.6	3.6
Cg ₁	18/20-24	826	136	38	4.58	33.4	1.3	0.9	0.4	9.6	15.7	10.1	1.8
Cg ₂	24-45+	852	109	40	3.99	34.7	1.4	1.0	0.4	8.1	12.7	9.0	1.3

Tabella 5.8. Analisi chimico fisiche del profilo PZ1.

Orizzonte	Profondità	Sabbia*	Limo*	Argilla*	Densità apparente	Densità reale	Porosità	Umidità	ψ _m	ψ _s	ψ _t	AWC	Acqua sulla CIM
	cm	g·kg ⁻¹			g·cm ⁻³		% v/v		kPa			cm/cm	% (v/v)
A	0-10/13	812	150	38	0.92	3.28	65.3	40.6	-18	-158	-176	0.23	62.2
A/C	10/13-18/20	807	146	48	1.43	3.39	48.0	45.3	-1	-195	-196	0.11	94.5
Cg ₁	18/20-24	826	136	38	1.59	3.39	42.3	41.3	0	-166	-166	0.09	97.6
Cg ₂	24-45+	852	109	40	1.51		42.9	42.9	0	-144	-144	0.08	100.0

* : sabbia 2 - 0.05 mm; limo 0.05 - 0.002 mm; argilla < 0.002 mm

** : cm di H₂O disponibile per cm di suolo

Profilo PZ3. Il profilo PZ3 è situato ad una quota di poco inferiore al livello del mare (-0,12 m s.l.m.). Come nel PZ1 le specie arboree osservate risultano piuttosto rade e costituite in prevalenza da giovani esemplari di farnia la cui fisiologia consente loro la sopravvivenza anche su terreni molto umidi. La vegetazione arbustiva è molto fitta (rovo, asparago selvatico, olivello, ecc.) e rende il sito difficilmente accessibile. Un carattere comune al PZ1 è l'abbondanza di sostanza organica, a basso o medio grado di alterazione, che viene ad accumularsi nella lettiera superficiale.

Osservando il profilo, questo mostra una successione negli orizzonti diagnostici simile a quella rilevata nel PZ1 (Allegato 1), in virtù delle medesime condizioni morfologiche dei due siti. L'orizzonte organo minerale al di sotto della lettiera si presenta bruno molto scuro, per effetto del forte contenuto di materia organica. Scendendo si osserva un cambio di colore a bruno giallastro e l'apparire delle prime screziature riconducibili all'oscillazione di falda orizzonte (A/C), queste diventano progressivamente più abbondanti mentre la matrice assume una colorazione grigia e caratteristiche tali riconducibili a fenomeni di idromorfia. L'ultimo orizzonte è quasi sommerso dalla tavola d'acqua, il cui livello è stato misurato a 31 cm di profondità da p.c.

Il profilo si presenta a tessitura sabbiosa franca in tutti gli orizzonti anche se è abbastanza visibile un aumento della frazione limosa verso la superficie (tabella 5.9).

Nel primo orizzonte il pH è neutro e sale a debolmente alcalino negli orizzonti sottostanti. Il primo orizzonte risulta completamente decarbonatato, mentre negli orizzonti sottostanti passano da debolmente a moderatamente calcarei con l'aumento della profondità. Sia il pH ed il tenore in carbonati risentono sensibilmente dell'effetto acidificante della sostanza organica di superficie.

Le aliquote di calcare attivo sul calcare totale sono basse nell'orizzonte A/C, ma salgono a molto alte negli orizzonti più profondi. Tali aliquote possono pertanto indurre carenze nutrizionali relative ad altri elementi (clorosi) specialmente per le specie arboree (Sbaraglia e Lucci, 1994).

Nell'orizzonte A del PZ3 è stato osservato il più alto contenuto di carbonio organico di tutti i profili analizzati nelle quattro aree boscate oggetto di studio.

Secondo l'SSS (2006) l'aliquota presente è di poco inferiore al limite massimo per poter essere classificato come un orizzonte minerale e non organico. Negli orizzonti sottostanti il C org. scende da livelli elevati sino a molto scarsi.

L'orizzonte A risulta inoltre eccessivamente dotato in N totale, mediamente dotato l'orizzonte A/C e poveri i due orizzonti più profondi. Per il trend molto simile che C e N seguono lungo il profilo si osserva un rapporto C/N ottimale per la trasformazione della sostanza organica nei primi due orizzonti. Negli orizzonti profondi i valori superiori di C/N sono indice di caratteristiche meno favorevoli per l'umificazione, verosimilmente indotte dall'ambiente asfittico che compromette le funzioni della biomassa microbica (Barbiroli et. *al.*, 2000).

Il P assimilabile dalle piante risulta molto basso in tutti gli orizzonti con un leggero aumento in superficie.

Il K scambiabile (assimilabile dalla piante) è presente in aliquote molto alte nel primo orizzonte, ma risulta molto scarso negli orizzonti sottostanti.

La forte presenza di sostanza organica nel primo orizzonte porta ad avere una CSC molto alta che scende a valori medi negli orizzonti A/C e Cg₁ e bassi nell'ultimo orizzonte.

Nei tre orizzonti più profondi le basi saturano totalmente il complesso di scambio (GSB = 100%), nel primo orizzonte il valore di poco inferiore al 100% di saturazione, non può dirsi significativo per essere ricondotto ad un inizio di decalcificazione.

I valori di Na sul complesso di scambio (ESP) aumentano progressivamente dalla superficie alla profondità, passando da valori leggermente alti (A), alti (A/C) e molto alti negli ultimi due orizzonti.

La CE ps (tabella 5.10) segue un trend abbastanza simile all'ESP: debolmente salino il primo orizzonte, fortemente salini gli orizzonti intermedi e molto fortemente salino l'orizzonte più profondo.

Dai parametri di pH, ESP e CE ps è possibile classificare, in base alla tabella 5.5, gli orizzonti del PZ3 come segue:

orizzonte A: non salino;

orizzonte A/C: salino;

orizzonte Cg₁: salino sodico;

orizzonte Cg₂: salino sodico;

Per la forte ritenzione idrica legata all'elevato contenuto di sostanza organica, il quantitativo di acqua (in peso percentuale) utile a saturare un campione di suolo del primo orizzonte è superiore al peso del suolo stesso ($PS > 100\%$). Negli orizzonti inferiori si scende comunque a valori molto inferiori.

Il SAR passa da valori bassi nel primo orizzonte per salire progressivamente a valori molto alti nell'ultimo orizzonte. Si osserva che gli andamenti di CE, SAR ed ESP risultano in stretta relazione fra di loro. Questo indica che il Na gioca un ruolo fondamentale nella crescente salinità dall'alto verso il basso, andando ad aumentare la sua presenza sia nella soluzione circolante che sul complesso di scambio. Evidenti sono pertanto i problemi di sodicizzazione negli orizzonti più profondi del profilo con possibili ripercussioni sulla nutrizione delle piante (MiPAF, 2001).

Il Boro solubile si attesta a valori molto alti nei primi due orizzonti, per scendere a valori medi in profondità.

Nel primo orizzonte la densità apparente è molto bassa per via dell'elevata porosità legata alla presenza di colloidali organici strutturati. L'ingente frazione di sostanza organica abbassa il peso specifico medio della matrice solida, come visibile dal dato sulla densità reale nell'orizzonte A (tabella 5.11). Negli orizzonti più profondi la densità apparente si attesta attorno a valori tipici per i suoli sabbiosi (Giardini, 1986).

La porosità (tabella 5.11), equivalente alla capacità idrica massima (CIM), nel primo orizzonte raggiunge un valore superiore a quella mediamente osservabile in terreni argillosi ben strutturati; 60% su volume secondo Giardini (1986). Negli orizzonti inferiori la porosità è più bassa ma sempre superiore ai valori mediamente riscontrabili in suoli sabbiosi: 40% su volume secondo Giardini (1986).

Il potenziale idrico totale è rappresentato, con eccezione del primo orizzonte, esclusivamente dal potenziale osmotico che in profondità diminuisce progressivamente nonostante si sia prossimi alla saturazione idrica (% di acqua sulla CIM vicina a 100). Tale diminuzione è chiaramente riconducibile al forte aumento della CE ps.

L'aumento della salinità si ripercuote anche sull'aliquota di acqua disponibile (AWC) che negli orizzonti inferiori tende a zero, nell'ultimo orizzonte l'acqua di fatto utilizzabile dalle piante è quella di falda quando presente.

La presenza di condizioni riducenti negli orizzonti più profondi è stata confermata con la determinazione del potenziale redox (Eh) e del pH nella soluzione del suolo che ha permesso di calcolare il fattore rH.

Poiché le acque di falda del profilo PZ3 presentano un $Eh = -160$ mV e un $pH = 7.2$, il valore di rH risulta essere pari a 8.7 mV e, per questa ragione, si può affermare che il suolo sviluppi proprietà gleyiche, tipiche di ambienti di transizione, periodicamente sommersi dalle acque di falda (figura 5.10).

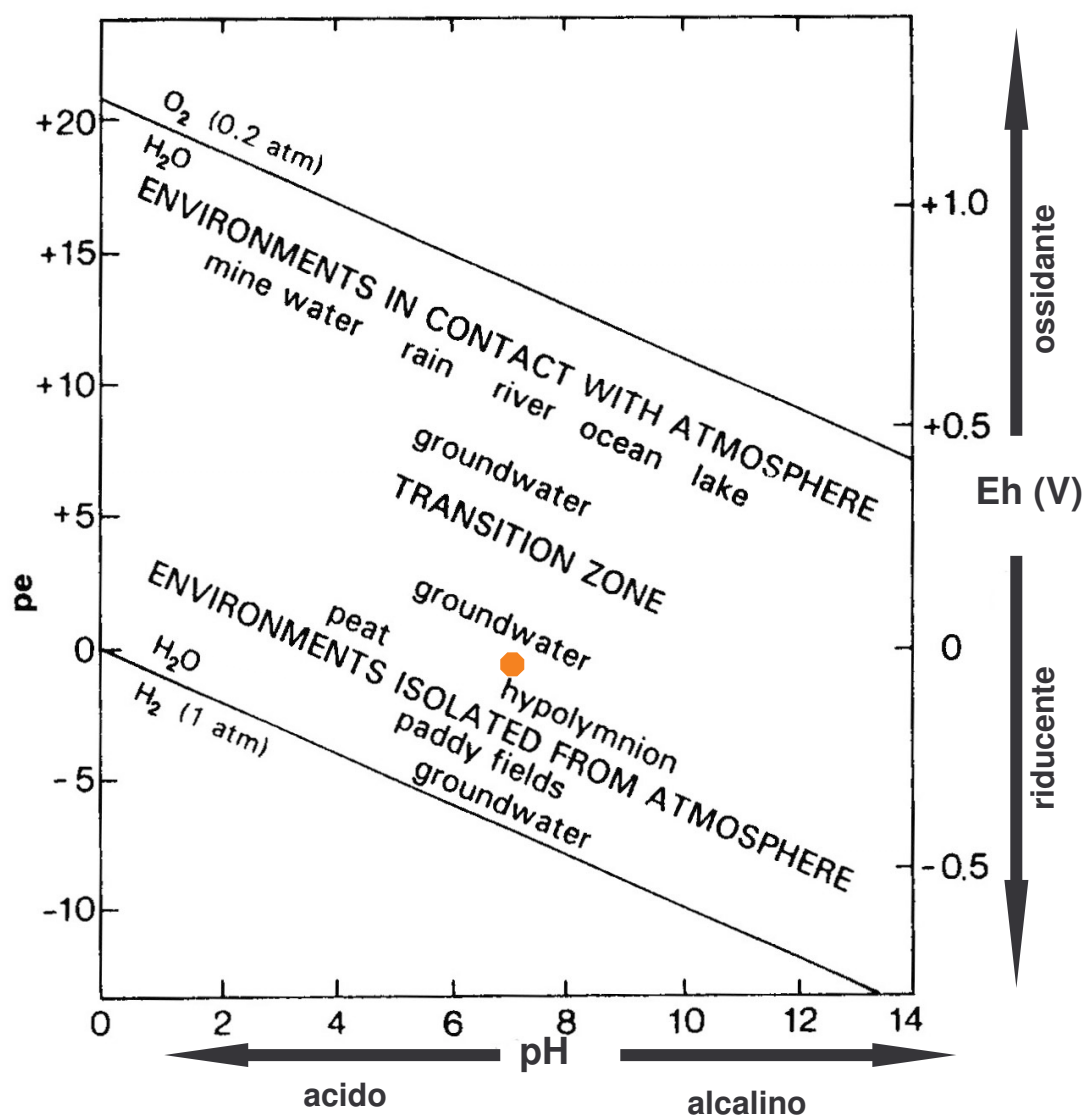


Figura 5.10. Diagramma Eh-pH di ambienti naturali (Merkel e Planer-Friedrich, 2005). In arancione è indicato il punto di incontro tra il valore del $pH = 7.2$ e quello di $Eh = -0.160$ mV

Tabella 5.9. Analisi chimico fisiche del profilo PZ3.

													basi di scambio						
Orizzonte	Profondità	Sabbia*	Limo*	Argilla*	Tessitura	Reaz. in H ₂ O	Calcare totale	Calcare attivo	C _{org.}	N _{totale}	C/N	P _{ass.}	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	CSC	GSB	ESP
	cm	g·kg ⁻¹			USDA	pH	g·kg ⁻¹					mg·kg ⁻¹	cmol ₍₊₎ ·kg ⁻¹				%		
A	0-6/8	768	173	59	SF	7.3	0	0	107.7	10.9	10	6	56.3	9.7	0.8	3.8	70.6	96	5.3
A/C	6/8-17	798	138	65	SF	7.6	39	1	15.4	1.4	11	3	12.4	2.3	0.1	2.5	17.3	100	14.4
Cg ₁	17-28	819	121	60	SF	7.6	74	8	6.2	0.4	14	2	7.4	1.0	0.1	1.6	10.2	100	16.2
Cg ₂	28-44+	841	111	48	SF	7.7	85	12	3.9	0.3	14	1.4	4.7	0.7	0.1	2.2	7.8	100	28.7

Tabella 5.10. Analisi chimico fisiche del profilo PZ3.

							Basi solubili						
Orizzonte	Profondità	Sabbia*	Limo*	Argilla*	C.E.	P.S.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SAR	Cl ⁻	Boro solubile
	cm	g·kg ⁻¹			dS·m ⁻¹	%	mmol ₍₊₎ ·kg ⁻¹					mmol ₍₊₎ ·kg ⁻¹	mg·Kg ⁻¹
A	0-6/8	768	173	59	2.32	103.3	4.2	2.3	0.9	13.9	7.5	9.2	3.5
A/C	6/8-17	798	138	65	10.24	47.3	8.2	4.8	0.1	25.8	14.7	34.9	2.7
Cg ₁	17-28	819	121	60	11.53	37.9	7.8	4.3	0.1	25.2	16.6	32.8	1.2
Cg ₂	28-44+	841	111	48	19.05	37.8	13.4	7.4	0.2	41.5	20.9	62.3	0.7

Tabella 5.11. Analisi chimico fisiche del profilo PZ3.

Orizzonte	Profondità	Sabbia*	Limo*	Argilla*	Densità apparente	Densità reale	Porosità	Umidità	ψ _m	ψ _s	ψ _t	AWC	Acqua sulla CIM
	cm	g·kg ⁻¹			g · cm ⁻³		% v/v		kPa			cm/cm **	% (v/v)
A	0-6/8	768	173	59	0.58	2.87	75.0	45.6	-15	-117	-132	0.25	60.8
A/C	6/8-17	798	138	65	1.06	3.03	56.9	50.1	-1	-376	-377	0.08	88.1
Cg ₁	17-28	819	121	60	1.36	3.43	51.3	49.8	0	-414	-414	0.04	97.2
Cg ₂	28-44+	841	111	48	1.31	3.42	53.0	51.7	0	-688	-688	0.00	97.6

* : sabbia 2 - 0.05 mm; limo 0.05 - 0.002 mm; argilla < 0.002 mm

** : cm di H₂O disponibile per cm di suolo

Profilo PZ4. Il punto della sommità dunale dove è stato aperto il profilo è a 0.83 m s.l.m. La vegetazione arborea, caratterizzata da specie arboree adulte di pino domestico, roverella e farnia, testimonia la presenza di suoli la cui profondità permette un maggiore approfondimento degli apparati radicali, e quindi un maggiore sviluppo, di essenze vegetali d'alto fusto.

Il luogo in cui è stato aperto il profilo è circondato da arbusti di varia natura (pungitopo, asparago selvatico, rovo, ecc.) ma, a differenza di quanto osservato nei siti PZ1 e PZ3, la lettiera superficiale presenta un grado di alterazione maggiore, in virtù delle condizioni ossidanti in cui si vengono a trovare le spoglie vegetali. Questo fattore, riduce gli apporti di sostanza organica umificata a livello dell'orizzonte organo minerale.

Nel profilo PZ4 si osserva un primo orizzonte superficiale A_1 brunificato, a cui segue un secondo orizzonte minerale (A_2) con caratteristiche di alterazione meno accentuate. Gli orizzonti al di sotto di questi appartengono al substrato pedogenetico e presentano leggere differenziazioni perlopiù legate ai cambi di colore spesso in relazione al diverso grado di umidità. La profondità del profilo PZ4 comporta il coinvolgimento dei soli orizzonti profondi nelle dinamiche associate alle fluttuazioni di falda. Lo testimoniano le deboli screziature rinvenute negli orizzonti Cg_1 e Cg_2 (Allegato 1).

Da tabella 5.12 si osserva come solamente l'orizzonte A_1 presenti tessitura sabbiosa franca, mentre al di sotto la tessitura è esclusivamente sabbiosa.

Si osserva un pH neutro nel primo orizzonte che varia da moderatamente alcalino a fortemente alcalino negli orizzonti inferiori.

Gli orizzonti del substrato e l' A_2 si presentano molto ricchi in calcare totale, ma questo si riduce a zero nel primo orizzonte.

Il calcare attivo è presente dal secondo orizzonte in giù con aliquote definite medie e alte rispetto al calcare totale.

Appare evidente anche qui l'effetto acidificante della sostanza organica che però, per i parametri di pH e calcare totale, manifesta il suo effetto non oltre il secondo orizzonte minerale. Il tenore di carbonio organico è molto elevato nell'orizzonte A_1 , ma diminuisce repentinamente con la profondità sino a valori molto bassi o addirittura in tracce (orizzonte C_1).

L'N totale segue grossomodo lo stesso trend del C org. l'orizzonte A₁ ne risulta ricco e l'A₂ mediamente dotato, gli orizzonti sottostanti ne sono molto poveri.

Il rapporto C/N si presenta superiore a 10 solo nel primo orizzonte, mentre negli orizzonti sottostanti i valori minori di 10 stanno ad indicare la presenza di orizzonti con scarsi tenori di sostanza organica dove il poco N presente è in buona parte sottoforma minerale, in quanto nelle sostanze umiche stabili la frazione organica dell'N è generalmente $\leq 1/10$ rispetto al C organico (C/N org. ≥ 10) (Barbiroli et al., 2000). Pertanto rapporti bassi di C/N indicano aliquote di N minerale prontamente disponibile per le piante, anche se in questi suoli a tessitura grossolana le precipitazioni esercitano un forte effetto di lisciviazione su tali aliquote.

Il P assimilabile è presente in aliquote molto basse in tutti gli orizzonti.

Anche il K scambiabile è presente in aliquote molto basse se non in tracce in tutti gli orizzonti.

La CSC è alta nell'orizzonte A₁ e si attesta attorno a valori bassi in tutti gli orizzonti sottostanti.

Nel primo orizzonte il GSB, pur molto alto, non risulta totale. Questo è riconducibile all'effetto acidificante della sostanza organica, che, abbassando il pH al limite delle neutralità, può aver influenzato un iniziale processo di decalcificazione.

La percentuale di Na sul complesso di scambio è normale sino all'orizzonte C₁ per poi progressivamente crescere sino a valori molto alti, superiori, nell'ultimo orizzonte, a quelli del PZ3.

La CE (tabella 5.13) si mantiene normale sino all'orizzonte C₁ per poi crescere progressivamente sino a raggiungere valori estremamente alti, superiori a quelli riscontrati nel PZ3.

Sulla base dei parametri indicati in tabella 5.5, gli orizzonti del PZ4 possono essere classificati come segue:

- orizzonte A₁: non salino;
- orizzonte A₂: non salino;
- orizzonte C₁: non salino;
- orizzonte C₂: salino (ma con pH > 8.5);

orizzonte Cg₁: salino sodico (ma con pH > 8.5);

orizzonte Cg₂: salino sodico (ma con pH > 8.5);

L'effetto legato all'aumento di porosità nel mezzo per via della presenza di sostanza organica è meno evidente sulla percentuale di saturazione osservata sul primo orizzonte.

Il SAR si presenta basso sino all'orizzonte C₁ per poi aumentare a valori medi e diventare molto alto nell'ultimo orizzonte

Anche nel profilo PZ4 i parametri di CE ps, ESP e SAR, risultano in relazione tra di loro, portando a ribadire le stesse considerazioni fatte sul PZ3 circa l'importanza del Na.

Le aliquote di boro solubile sono medie nel primo orizzonte, basse o molto basse negli orizzonti intermedi e nuovamente medie nell'orizzonte più profondo. Un trend simile è stato osservato anche da Sandri e Casalicchio (1970) nei profili in cui il campionamento si è spinto sino alla falda. Come ipotizzato dai suddetti è possibile ricondurre l'aumento di boro nell'ultimo orizzonte alla risalita capillare di questo dalla falda.

La densità apparente è inferiore a 1 nel primo orizzonte ed aumenta in profondità sino a raggiungere valori medi di un tipico suolo sabbioso.

La presenza di materia organica a basso peso specifico si evince dal basso valore di densità reale nel primo orizzonte rispetto a quelli sottostanti.

La porosità non subisce significative variazioni lungo il profilo, mantenendosi tuttavia a livelli leggermente superiori a quelli indicati da Giardini (1986) per i suoli sabbiosi. Nel primo orizzonte l'elevato numero di micropori legati alla struttura della sostanza organica, provoca un abbassamento tale del potenziale idrico totale da non rendere disponibile alle piante la scarsa acqua presente. Lungo il profilo tale parametro subisce notevoli variazioni. Il linea di massima valori bassi di potenziale sono presenti negli orizzonti particolarmente asciutti (es. nel C₁ con solamente il 6.5% di acqua sulla CIM) ed in quelli molto salini. Nelle due casistiche citate potenziale matriciale e potenziale osmotico costituiscono rispettivamente buona parte del potenziale totale.

Su tutti gli orizzonti del PZ4 sono state eseguite le analisi al diffrattometro per indagare possibili variazioni delle componenti minerali lungo il profilo. È stato scelto tale profilo in quanto avente i minori contenuti di sostanza organica, al fine di minimizzare le interferenze da essa provocate.

Nel diffrattogramma dell'orizzonte A₁ (figura 5.11) si osservano abbastanza chiaramente i principali picchi del quarzo, benché questa non sia un'analisi qualitativa è verosimile, considerando il tipo di substrato sabbioso, che tale minerale sia il preponderante. In secondo luogo appaiono i feldspati. Questi sono presenti con diversi picchi dei plagioclasti, verosimilmente albite come osservato per il PZ1. Inoltre si osserva il principale picco del K-feldspato K[AlSi₃O₈]. Sono poi visibili i principali picchi riconducibili a fillosilicati quali clorite e a muscovite.

Negli orizzonti inferiori (figure 5.12, 5.13, 5.14, 5.15 e 5.16) i picchi relativi ai minerali sopracitati tendono in generale ad essere più visibili e distinti, per diminuzione delle interferenze legate alla sostanza organica. Dall'orizzonte A2 in poi fanno la loro comparsa anche principali picchi di calcite e dolomite, a conferma dei carbonati determinati per via calcimetrica. Tra i minerali osservabili quarzo, plagioclasti, K-feldspato e clorite sono provenienti da rocce residuali, mentre calcite, dolomite e muscovite rappresentano minerali di neoformazione. Calcite e dolomite in particolare sono il risultato dei processi di lisciviazione dall'orizzonte superficiale e rideposizione negli orizzonti sottostanti.

La clorite, proveniente specialmente da rocce sedimentarie e di metamorfismo di basso grado non è molto frequente in tali ambienti sedimentari.

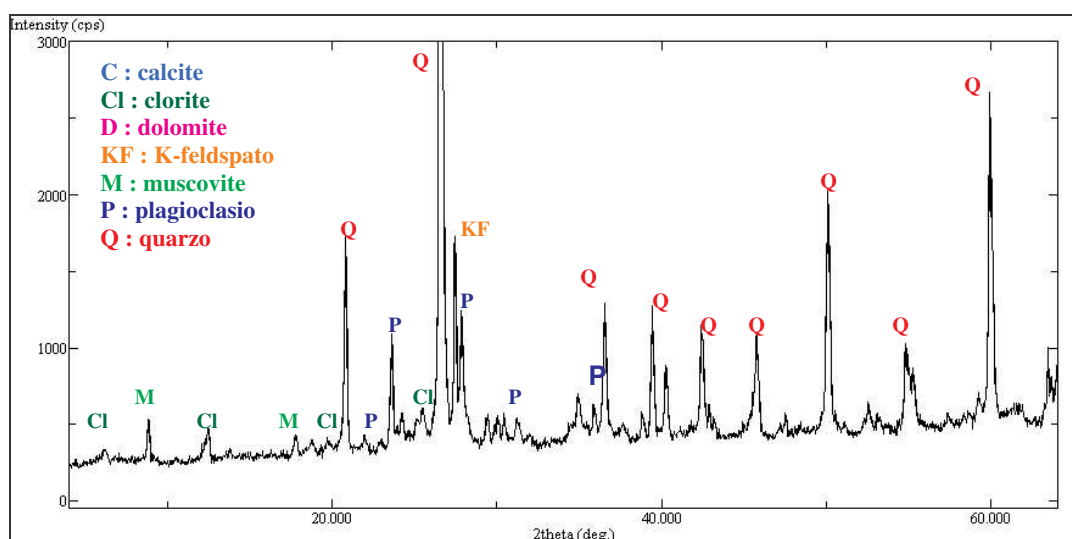


Figura 5.11. Difrattogramma dell'orizzonte A₁ del profilo PZ4 (0-10cm).

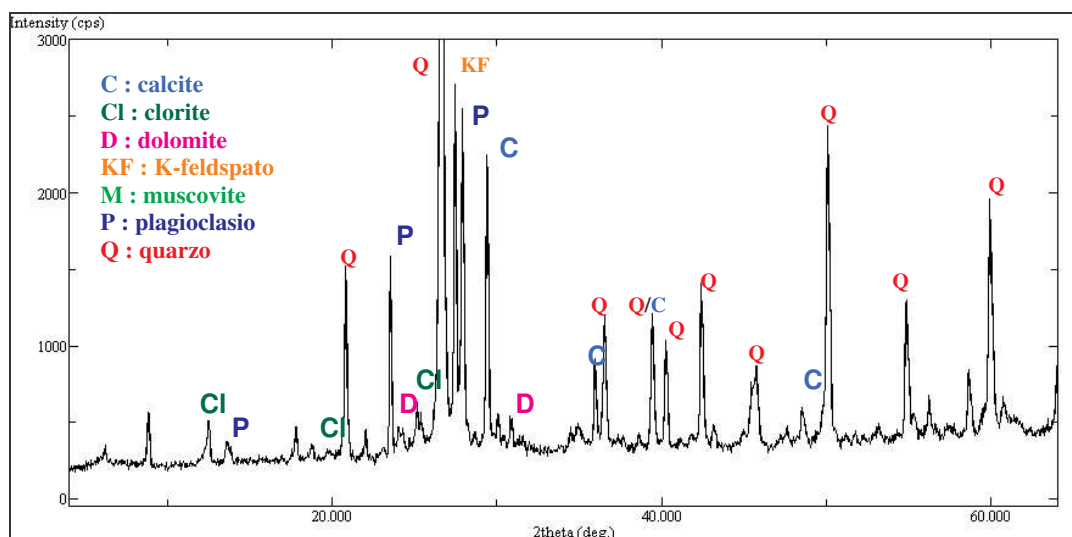


Figura 5.12. Difrattogramma dell'orizzonte A₂ del profilo PZ4 (10-35cm).

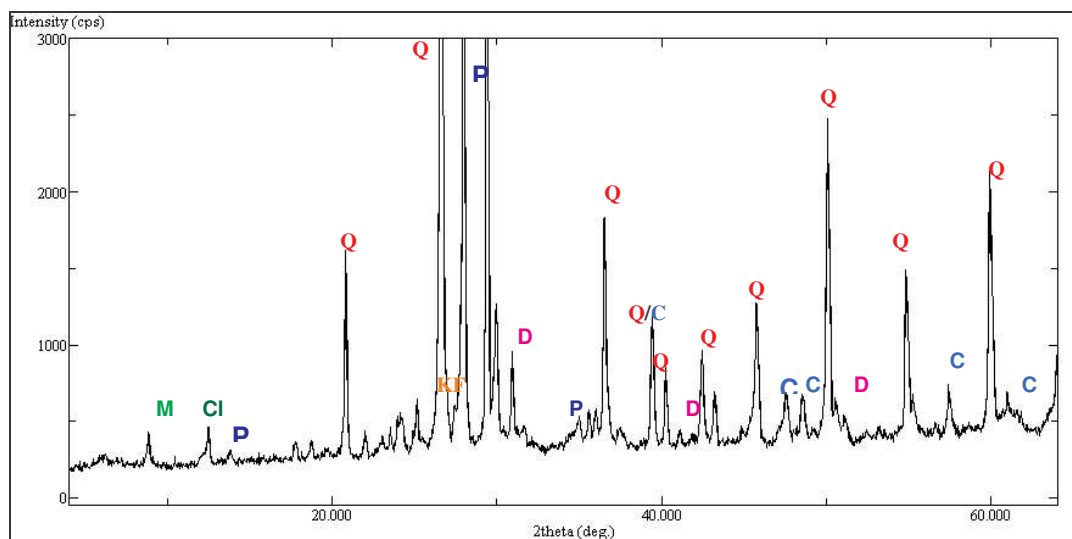


Figura 5.13. Difrattogramma dell'orizzonte C₁ del profilo PZ4 (35-73cm).

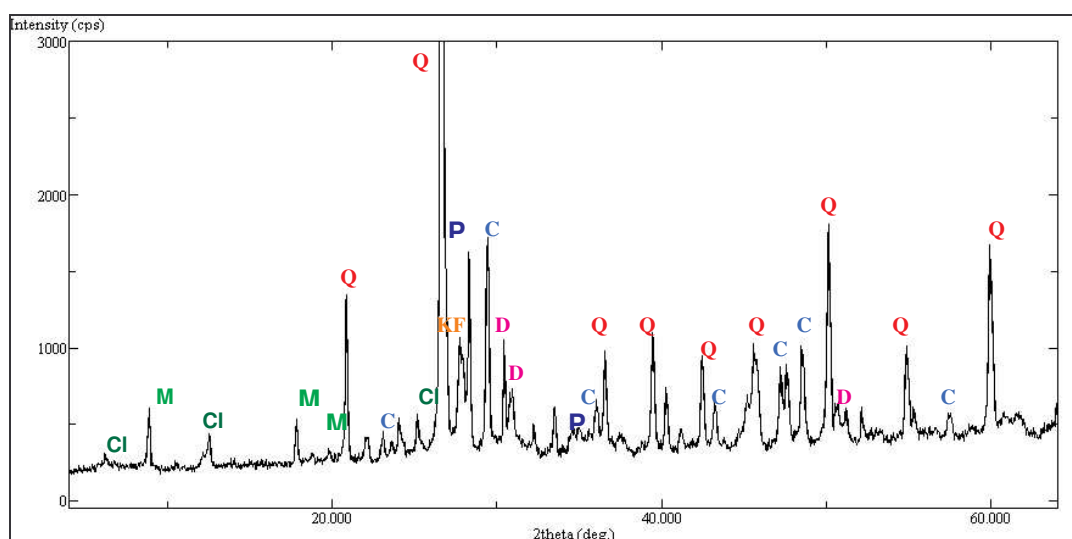


Figura 5.14. Difrattogramma dell'orizzonte C₂ del profilo PZ4 (73-106cm).

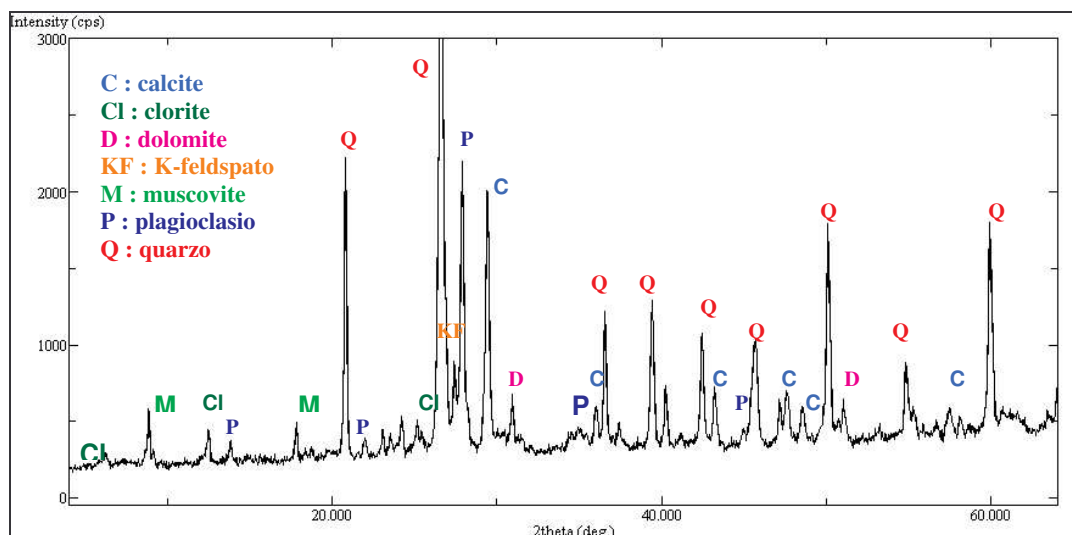


Figura 5.15. Difrattogramma dell'orizzonte Cg₁ del profilo PZ4 (106-127cm).

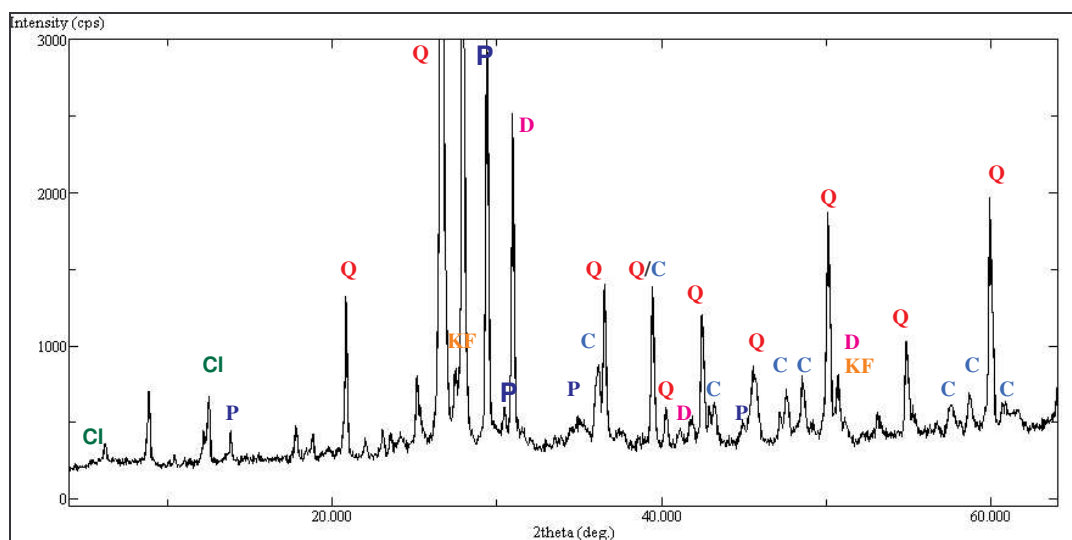


Figura 5.16. Difrattogramma dell'orizzonte Cg₂ del profilo PZ4 (127-162cm).

Tabella 5.12. Analisi chimico fisiche del profilo PZ4.

													basi di scambio						
Orizzonte	Profondità	Sabbia*	Limo*	Argilla*	Tessitura	pH	Calcare totale	Calcare attivo	C _{org.}	N _{totale}	C/N	P _{ass.}	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	CSC	GSB	ESP
	cm	g·kg ⁻¹			USDA	(H ₂ O)	g·kg ⁻¹					mg·kg ⁻¹	cmol ₍₊₎ ·kg ⁻¹				%		
A ₁	0-10	823	141	36	SF	6.7	0	0	36.4	2.3	16	5	22.2	1.6	0.0	0.1	24.0	76	0.4
A ₂	10-35	895	83	23	S	7.9	115	9	4.0	1.1	4	2	6.7	0.5	0.0	0.0	7.4	100	0.5
C ₁	35-73	936	40	25	S	8.2	150	8	0.1	0.2	1	0	4.9	0.4	0.0	0.0	5.4	100	0.5
C ₂	73-106	913	61	26	S	8.7	154	11	0.9	0.2	5	1	4.1	0.5	0.0	0.5	5.4	100	10.0
Cg ₁	106-127	871	101	28	S	9.0	134	11	1.1	0.2	7	2	4.1	0.7	0.0	1.2	6.2	100	18.6
Cg ₂	127-162+	916	56	28	S	8.4	152	15	1.7	0.1	22	3	1.1	1.0	0.2	2.7	5.0	100	53.7

Tabella 5.13. Analisi chimico fisiche del profilo PZ4.

							Basi solubili						
Orizzonte	Profondità	Sabbia*	Limo*	Argilla*	C.E.	P.S.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SAR	Cl ⁻	Boro solubile
	cm	g·kg ⁻¹			dS·m ⁻¹	%	mmol ₍₊₎ ·kg ⁻¹					mmol ₍₊₎ ·kg ⁻¹	mg·Kg ⁻¹
A ₁	0-10	823	141	36	0.65	54.5	2.8	0.8	0.0	0.9	0.9	0.6	0.9
A ₂	10-35	895	83	23	0.57	36.4	1.6	0.4	0.0	0.5	0.8	0.4	0.4
C ₁	35-73	936	40	25	1.49	33.0	2.7	0.8	0.0	1.1	1.5	3.3	0.2
C ₂	73-106	913	61	26	4.07	34.0	1.8	0.9	0.1	8.9	13.2	9.5	0.5
Cg ₁	106-127	871	101	28	6.22	33.5	1.4	1.3	0.3	9.2	13.6	15.1	0.9
Cg ₂	127-162+	916	56	28	21.74	34.5	6.2	10.1	2.0	46.6	27.8	66.3	1.1

Tabella 5.14. Analisi chimico fisiche del profilo PZ4.

Orizzonte	Profondità	Sabbia*	Limo*	Argilla*	Densità apparente	Densità reale	Porosità	Umidità	ψ _m	ψ _s	ψ _t	AWC	Acqua sulla CIM
	cm	g·kg ⁻¹			g·cm ⁻³		% v/v		kPa			cm/cm **	% (v/v)
A ₁	0-10	823	141	36	0.74	1.65	44.8	5.1	-1327	-173	-1500	0.21	11.4
A ₂	10-35	895	83	23	1.25	3.16	51.6	6.4	-45	-165	-210	0.08	12.3
C ₁	35-73	936	40	25	1.32	3.23	49.7	2.4	-140	-1074	-1214	0.06	4.8
C ₂	73-106	913	61	26	1.28	2.85	44.8	15.9	-26	-443	-469	0.06	35.4
Cg ₁	106-127	871	101	28	1.36	3.13	46.5	37.1	-9	-285	-294	0.06	79.9
Cg ₂	127-162+	916	56	28	1.38		48.1	40.6	0	-720	-720	0.00	100.0

* : sabbia 2 - 0.05 mm; limo 0.05 - 0.002 mm; argilla < 0.002 mm

** : cm di H₂O disponibile per cm di suolo

Profilo PZ7. Il sito in cui è stato descritto il profilo PZ7 è caratterizzato da una ricca vegetazione arborea (asparago selvatico, pungitopo, rovo, gallium aparinae, graminacee, ecc.) e da essenze arboree d'alto fusto (pino domestico e roverella). Rispetto al sito PZ4 però, si osserva un generalizzato deperimento del pino domestico e la presenza di alcuni esemplari sradicati e adagiati sul terreno. Questo lascia presagire condizioni ambientali non del tutto favorevoli alla sopravvivenza di tali essenze e ciò è imputabile molto probabilmente ad alcune proprietà del substrato pedologico presente.

Relativamente agli aspetti visivi il profilo PZ7 rappresenta una situazione intermedia, tra il PZ4 e i due suoli campionati in bassura. Le screziature si osservano all'incirca a mezzo metro di profondità e si fanno progressivamente più evidenti anche se non si osservano colorazioni riconducibili ad ambienti riducenti. La falda è stata misurata a 79 cm da p.c.

Da tabella 5.15 si osserva come solamente l'orizzonte A presenti tessitura sabbiosa franca, mentre al di sotto la tessitura è esclusivamente sabbiosa.

Il pH è debolmente alcalino nei primi due orizzonti superficiali e passa da moderatamente alcalino a fortemente alcalino scendendo negli orizzonti inferiori.

Gli orizzonti di substrato sono molto calcarei, mentre verso la superficie i valori scendono da moderatamente calcarei a debolmente calcarei.

Il calcare attivo è presente in aliquota medio alta nell'orizzonte di transizione A/C ed in aliquote molto alte negli orizzonti inferiori.

L'effetto acidificante della sostanza organica risulta, rispetto al PZ4 un po' meno concentrato al primo orizzonte di superficie, ma diffuso anche nell'orizzonte di transizione A/C, inoltre non si assiste alla totale decarbonatazione superficiale. Il contenuto di carbonio organico è molto elevato nell'orizzonte A, medio nell'orizzonte di transizione e molto scarso negli orizzonti di substrato. La diminuzione di tale parametro con la profondità è meno repentina rispetto a quella osservata nel PZ4, ciò può essere riconducibile alle condizioni meno ossidanti e più umide riscontrabili nel profilo.

L'orizzonte A risulta ben dotato di N totale, mentre tutti gli orizzonti sottostanti ne sono poveri.

Il rapporto C/N si presenta, ottetto il penultimo orizzonte, sempre > 10 . questo sta a significare che possono non esserci le condizioni ideali per l'umificazione della sostanza organica, sia in superficie per fattori legati al tipo di lettiera, sia in profondità per la presenza di saturazione idrica.

Il P assimilabile è presente in aliquote basse lungo tutto il profilo, con un lieve aumento nell'orizzonte A.

Il contenuto di K scambiabile può dirsi medio per l'orizzonte A, ma basso o molto basso per gli orizzonti sottostanti. Non si escludono pertanto carenze nutrizionali delle piante per tale elemento.

La CSC risulta alta nell'orizzonte A, media nell'orizzonte di transizione e bassa negli orizzonti di substrato.

In tutti gli orizzonti le basi saturano completamente il complesso di scambio.

L'ESP si presenta normale in tutti gli orizzonti del profilo anche se dalla superficie alla profondità si osserva un certo aumento.

La CE ps (tabella 5.16) nei primi due orizzonti superficiali si attesta a valori normali (non salini), negli orizzonti sottostanti si osserva un aumento sino al limite inferiore dei valori ritenuti alti.

Sulla base dei parametri indicati in tabella 5.5, gli orizzonti del PZ4 possono essere classificati come segue:

orizzonte A : non salino;

orizzonte A/C : non salino;

orizzonte C : non salino;

orizzonte Cg₁: non salino;

orizzonte Cg₂: salino (ma con pH > 8.5);

I valori di SAR sono all'interno di valori bassi in tutti gli orizzonti, anche se dalla superficie alla profondità si osserva un graduale aumento. Anche nel PZ7 gli andamenti di ESP, CE ps e SAR sono in relazione tra di loro.

Il contenuto di boro solubile si aggira attorno a valori medi o bassi senza seguire un particolare trend lungo il profilo.

Anche nel PZ7 si osserva una densità apparente molto bassa nel primo orizzonte, legata alla presenza dei micropori presenti tra i colloidi organici. I valori

degli orizzonti sottostanti non sono molto diversi da quelli osservati negli orizzonti di substrato degli altri profili.

La porosità si presenta maggiore in superficie, ma anche negli orizzonti sottostanti si mantiene a valori superiori a quelli considerati medi per i suoli sabbiosi (Giardini, 1986).

I valori generalmente non elevati di salinità ed una certa percentuale di umidità sulla CIM anche negli orizzonti superficiali, fanno sì che il potenziale idrico totale presenti valori generalmente poco negativi su tutti gli orizzonti.

Dalle analisi al difrattometro dell'orizzonte più profondo (Cg₂ : 70 – 91cm), si osservano sostanzialmente gli stessi minerali riscontrati negli orizzonti di substrato del PZ4. Principalmente riconoscibili sono i picchi del quarzo, e, secondariamente degli altri minerali quali albite, calcite e muscovite (figura 5.17).

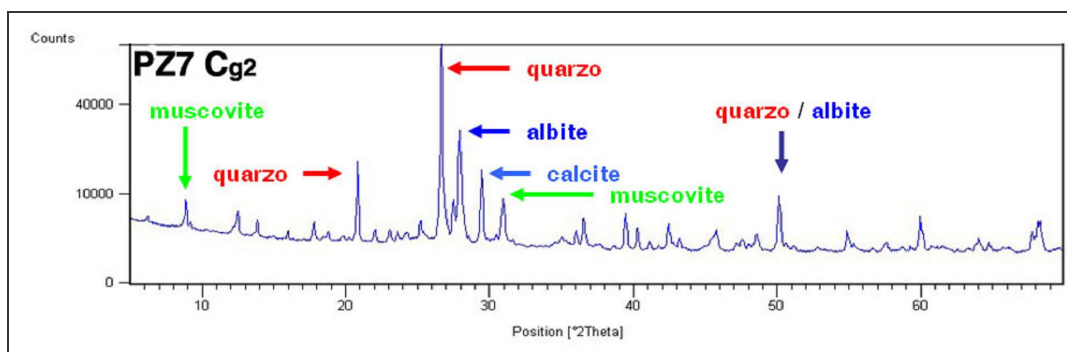


Figura 5.17. Difrattogramma del campione relativo all'orizzonte A del profilo PZ1.

Tabella 5.15. Analisi chimico fisiche del profilo PZ7.

													basi di scambio						
Orizzonte	Profondità	Sabbia*	Limo*	Argilla*	Tessitura	pH	Calcare totale	Calcare attivo	C _{org.}	N _{totale}	C/N	P _{ass.}	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	CSC	GSB	ESP
	cm	g·kg ⁻¹			USDA	(H ₂ O)	g·kg ⁻¹					mg·kg ⁻¹	cmol ₍₊₎ ·kg ⁻¹				%		
A	0-10/12	819	131	50	SF	7.5	45	0	33.4	1.8	19	6	20.8	1.2	0.3	0.1	22.4	100	0.2
A/C	10/12-25	851	116	33	S	7.8	63	6	10.3	0.8	13	2	11.1	0.8	0.2	0.1	12.1	100	0.5
C	25-55	895	76	30	S	8.3	147	17	2.9	0.2	16	3	6.8	0.6	0.2	0.3	7.8	100	3.3
Cg ₁	55-70	893	78	30	S	8.7	147	16	1.7	0.2	9	3	5.3	0.8	0.2	0.3	6.6	100	4.4
Cg ₂	70-91+	922	61	18	S	8.6	134	15	2.9	0.2	16	2	6.0	1.0	0.1	0.3	7.4	100	4.2

Tabella 5.16. Analisi chimico fisiche del profilo PZ7.

							Basi solubili						
Orizzonte	Profondità	Sabbia*	Limo*	Argilla*	C.E.	P.S.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SAR	Cl ⁻	Boro solubile
	cm	g·kg ⁻¹			dS·m ⁻¹	%	mmol ₍₊₎ ·kg ⁻¹					mmol ₍₊₎ ·kg ⁻¹	mg·Kg ⁻¹
A	0-10/12	819	131	50	0.89	52.1	3.8	0.7	0.2	0.7	0.6	0.5	1.1
A/C	10/12-25	851	116	33	0.91	43.0	2.6	0.6	0.0	0.9	1.0	1.0	0.6
C	25-55	895	76	30	2.13	36.9	2.3	0.8	0.1	3.2	4.2	4.9	0.7
Cg ₁	55-70	893	78	30	2.53	35.3	1.1	0.9	0.1	4.8	8.3	5.6	1.0
Cg ₂	70-91+	922	61	18	4.09	35.9	2.0	2.1	0.0	7.2	8.5	10.6	0.9

Tabella 5.17. Analisi chimico fisiche del profilo PZ7.

Orizzonte	Profondità	Sabbia*	Limo*	Argilla*	Densità apparente	Densità reale	Porosità	Umidità	ψ _m	ψ _s	ψ _t	AWC	Acqua sulla CIM
	cm	g·kg ⁻¹			g · cm ⁻³		% v/v		kPa			cm/cm **	% (v/v)
A	0-10/12	819	131	50	0.662	2.81	71.0	19.5	-32	-98	-130	0.20	27.5
A/C	10/12-25	851	116	33	1.185	3.13	53.4	16.4	-28	-100	-128	0.11	30.8
C	25-55	895	76	30	1.337	2.94	44.1	28.6	-16	-128	-144	0.07	64.9
Cg ₁	55-70	893	78	30	1.381	3.06	44.6	41.5	-5	-104	-109	0.07	93.1
Cg ₂	70-91+	922	61	18	1.338	3.43	52.1	49.4	-1	-151	-152	0.06	94.9

* : sabbia 2 - 0.05 mm; limo 0.05 - 0.002 mm; argilla < 0.002 mm

** : cm di H₂O disponibile per cm di suolo

Dalle analisi relative al primo campionamento, si osserva come i profili PZ1 e PZ3 presentino i maggior problemi per supportare vegetazione non igrofila, rendendo proibitiva la sopravvivenza a specie quali il pino. Nel PZ3 a tale problema si aggiungono gli elevati livelli di CE, presentando condizioni critiche per specie poco tolleranti la salinità.

Il profilo PZ4 risulta quello complessivamente più povero in termini di sostanza organica ed elementi nutritivi per le piante, in particolar modo negli orizzonti intermedi. In tale profilo si raggiungono anche i valori più elevati di CE ps, ESP e SAR, anche se questi si manifestano critici solo negli orizzonti profondi. La carenza di nutrienti negli orizzonti intermedi si associa ai bassi tenori di umidità che, innalzando i potenziali matriciali, ne rendono ancora più difficile l'assorbimento da parte dei vegetali. A risentire di queste criticità sono soprattutto le piante ad alto fusto (pino, roverella, farnia ecc.) che sviluppano buona parte delle radici in tale porzione di suolo.

Nel PZ7 l'assorbimento degli elementi nutritivi nella soluzione circolante non dovrebbe creare particolari problemi. Tuttavia si può ipotizzare che, nel lungo periodo, le fluttuazioni del livello di falda rappresentino dei fattori di stress tali da compromettere la sopravvivenza di essenze vegetali come il pino domestico che, in questo sito presenta diversi esemplari morti o deperienti.

Al fine di comprendere meglio le relazioni esistenti tra i diversi parametri chimico fisici indagati, i dati ottenuti sono stati messi a confronto parametro per parametro calcolandone il coefficiente di correlazione di Pearson.

La tabella 5.18 riporta la matrice di correlazione tra i diversi parametri analizzati. Al fine di agevolarne la lettura sono stati evidenziati in rosso le correlazioni più forti (coeff. ≥ 0.9), in blu le correlazioni positive o negative aventi coeff. da $\pm(0.8$ a $0.9)$ ed in verde le correlazioni più deboli ma comunque significative.

Nella matrice si osservano sia correlazioni ritenute prevedibili, sia correlazioni meno preventivabili, ma comunque non prive di interesse.

Le aliquote di argilla presenti sembrano essere inversamente correlate con le due forme di calcare in quanto più presenti negli orizzonti superficiali decarbonatati. Forte correlazione si osserva tra calcare attivo e totale. Il forte contributo dato dalla sostanza organica al complesso di scambio è messo in evidenza dalle forti correlazioni presenti tra il C org, la CSC e le basi scambiabili ad eccezione del Na. Anche l'N, in buona parte legato alla materia organica, presenta correlazioni altrettanto evidenti con i parametri suddetti. Evidente inoltre la correlazione negativa di C org e N con la densità apparente.

Diverse correlazioni positive si osservano tra le basi di scambio e la CSC, anche se il Na sembra comunque avere relazioni più deboli.

Non sembra esistere nessuna relazione tra le basi scambiabili e quelle solubili ad eccezione del Na scambiabile che presenta correlazioni significative con Mg, K, Na solubili oltre che col SAR. Questo starebbe a significare che ad una maggior presenza di Na sul complesso di scambio corrisponde un aumento delle basi in soluzione eccetto il Ca. Visibile è inoltre la correlazione negativa tra la CSC e la densità apparente.

L'ESP risulta poi in forte correlazione con CE ps, Mg, Na e Cl solubili, oltre che con K solubile e SAR.

Molto forti le correlazioni della CE ps con le basi solubili ed il SAR, anche se la relazione con il Ca sembra un poco più debole.

Le basi solubili presentano tra di loro correlazioni positive piuttosto evidenti, anche se il Ca sembra essere meno dipendente dalla presenza delle altre basi in soluzione e dalla CE ps stessa. Il SAR oltre che col Na è in buona correlazione anche col K solubile.

I cloruri presentano correlazioni forti con CE, ESP, SAR e le basi solubili, compreso il Ca.

Significativa risulta essere la correlazione del B solubile con alcune specie del complesso di scambio.

Abbastanza prevedibile la correlazione negativa tra porosità e densità apparente, mentre risulta forte la correlazione tra l'umidità del suolo e la percentuale di questa sulla capacità idrica massima.

Tabella 5.18. Matrice di correlazione dei parametri chimico fisici ottenuti dal primo campionamento dei profili PZ1, PZ3, PZ4 e PZ7.

	Arg.	pH	Calc. tot.	Calc. att.	C org.	N	C/N	P-ass	Ca scam	Mg scam	K scam	Na scam	CSC	ESP	CE ps	Ca sol	Mg sol	K sol	Na sol	SAR	Cl-	B sol.	Den. app.	Por %	Umid. %	P. matr	P. osm	acq/CIM
Arg.	1.00																											
pH	-0.52	1.00																										
Calc. tot.	-0.65	0.61	1.00																									
Calc. att.	-0.61	0.58	0.91	1.00																								
C org.	0.49	-0.59	-0.61	-0.60	1.00																							
N	0.45	-0.50	-0.54	-0.52	0.98	1.00																						
C/N	0.21	-0.22	-0.29	-0.05	0.04	-0.08	1.00																					
P-ass	0.30	-0.30	-0.33	-0.19	0.49	0.42	0.48	1.00																				
Ca sc.	0.49	-0.59	-0.64	-0.63	0.99	0.97	0.01	0.45	1.00																			
Mg sc.	0.47	-0.38	-0.58	-0.53	0.93	0.96	-0.05	0.35	0.93	1.00																		
K sc.	0.33	-0.12	-0.61	-0.56	0.76	0.77	0.05	0.29	0.77	0.85	1.00																	
Na sc.	0.60	-0.14	-0.37	-0.28	0.52	0.57	0.12	0.08	0.48	0.70	0.57	1.00																
CSC	0.52	-0.55	-0.64	-0.62	0.99	0.98	0.01	0.43	0.99	0.96	0.80	0.57	1.00															
ESP	0.08	0.23	0.23	0.31	-0.22	-0.20	0.36	-0.14	-0.30	-0.10	-0.10	0.56	-0.22	1.00														
CE ps	0.24	0.09	0.19	0.30	-0.25	-0.23	0.36	-0.18	-0.32	-0.14	-0.22	0.56	-0.25	0.94	1.00													
Ca sol	0.56	-0.39	-0.04	0.04	0.02	0.01	0.23	-0.07	-0.02	0.01	-0.24	0.50	0.02	0.55	0.77	1.00												
Mg sol	0.27	-0.06	0.14	0.24	-0.09	-0.07	0.39	-0.08	-0.16	0.00	-0.16	0.62	-0.08	0.91	0.96	0.78	1.00											
K sol	0.41	-0.11	-0.09	0.04	0.10	0.13	0.37	0.00	0.04	0.24	0.08	0.78	0.13	0.81	0.89	0.78	0.93	1.00										
Na sol	0.36	-0.02	0.05	0.18	-0.06	-0.03	0.34	-0.11	-0.13	0.07	-0.05	0.71	-0.04	0.91	0.97	0.79	0.97	0.95	1.00									
SAR	0.22	0.31	0.06	0.19	-0.21	-0.17	0.31	-0.18	-0.27	0.00	0.08	0.65	-0.17	0.89	0.88	0.49	0.79	0.80	0.88	1.00								
Cl-	0.28	0.03	0.17	0.28	-0.20	-0.18	0.34	-0.16	-0.27	-0.10	-0.22	0.59	-0.20	0.92	0.99	0.81	0.97	0.91	0.98	0.85	1.00							
B sol.	0.37	-0.16	-0.60	-0.55	0.52	0.53	0.01	0.05	0.55	0.72	0.74	0.61	0.61	-0.02	-0.06	-0.06	0.01	0.26	0.12	0.19	-0.06	1.00						
Dens. app.	-0.38	0.74	0.45	0.53	-0.81	-0.73	-0.04	-0.43	-0.81	-0.63	-0.38	-0.20	-0.77	0.31	0.30	-0.10	0.11	0.00	0.16	0.43	0.24	-0.33	1.00					
Por %	0.50	-0.50	-0.40	-0.48	0.77	0.75	0.02	0.34	0.77	0.72	0.53	0.45	0.77	-0.15	-0.11	0.24	0.06	0.25	0.05	-0.19	-0.06	0.49	-0.79	1.00				
Umid. %	0.45	0.22	-0.17	0.07	0.07	0.10	0.41	0.15	0.04	0.28	0.28	0.69	0.13	0.54	0.60	0.41	0.56	0.69	0.66	0.75	0.59	0.37	0.25	0.10	1.00			
P. matr	0.07	0.56	0.28	0.28	-0.19	-0.09	-0.10	-0.09	-0.19	0.03	0.16	0.26	-0.13	0.23	0.24	0.08	0.17	0.25	0.25	0.35	0.22	0.12	0.41	0.17	0.48	1.00		
P. osm	0.09	-0.10	-0.43	-0.26	0.32	0.28	0.27	0.47	0.36	0.27	0.36	-0.14	0.33	-0.49	-0.54	-0.47	-0.52	-0.39	-0.49	-0.35	-0.55	0.26	-0.25	0.16	0.08	-0.06	1.00	
acq/CIM	0.28	0.39	-0.05	0.21	-0.18	-0.15	0.44	0.08	-0.21	0.03	0.12	0.50	-0.13	0.56	0.60	0.29	0.50	0.57	0.60	0.78	0.57	0.20	0.51	-0.20	0.95	0.46	0.07	1.00

5.3. MONITORAGGIO

L'attività di monitoraggio ha contemplato invece, per ogni orizzonte di ciascun profilo, il prelievo mensile di campioni di suolo, avvenuto con l'ausilio di una trivella olandese. Conoscendo le profondità di ogni orizzonte, in virtù delle informazioni ottenute dall'indagine pedologica iniziale, è stata ricreata, su un porta carote graduato, la sequenza caratteristica degli orizzonti di ciascun profilo. Tuttavia l'utilizzo della trivella comporta frequenti contaminazioni sui campioni, in quanto quelli più profondi possono venire contaminati da quelli più superficiali durante le operazioni di scavo. Per risolvere almeno parzialmente questo problema è utile osservare la "carota" di sedimento estratta, in modo da apprezzarne le variazioni cromatiche e le screziature associate a ciascun orizzonte, e intuire immediatamente se si sono verificate o meno delle contaminazioni onde poterle eliminare.

Un'altra difficoltà di ordine tecnico spesso incontrata è stata la corretta campionatura degli orizzonti più profondi saturi di acqua, in quanto al momento del campionamento si deve porre attenzione a non perdere, per percolazione, l'acqua gravitazionale presente nei macropori del campione di suolo. È necessario infatti che il campione venga prelevato nella sua interezza, comprensivo anche di tutta la fase liquida in quanto in essa sono contenuti i sali solubili, principale parametro di analisi del monitoraggio.

Nella pratica i campioni saturi di acqua più problematici sono stati messi, all'istante del campionamento, dentro barattoli di plastica a chiusura ermetica e mantenuti in uno stato di saturazione idrica sino al posizionamento in appositi contenitori impermeabili per l'essiccamento. Il campione non deve essere nemmeno in sovrasaturazione di acqua in quanto al momento dell'essiccamento si avrebbe la deposizione dei sali presenti anche nell'acqua libera, causando una sovrastima nella determinazione analitica.

L'attività di monitoraggio è durata dal mese di marzo 2007 al mese di gennaio 2008. Inserendo nel monitoraggio anche il primo campionamento effettuato a febbraio 2007, i rilievi compiuti su ogni profilo nell'arco di un anno sono stati 12.

Per questioni legate al considerevole impiego di tempo e materiale non è stato possibile eseguire l'insieme delle determinazioni analitiche elencate nelle tabelle

5.1 e 5.2 per tutti i campioni dei 12 rilevamenti. Naturalmente si è cercato di dare maggior spazio alle determinazioni che al fine dell'indagine si potessero dimostrare più significative.

Il set di dati analitici ottenuti si è mostrato comunque più che sufficiente per esprimere tutta una serie di considerazioni che vengono esposte di seguito con la presentazione dei risultati.

Il set di parametri indagati durante il monitoraggio sono indicati nelle tabelle 5.2 e 5.3.

Durante il monitoraggio una stima della percentuale di acqua sulla CIM è stata calcolata sul peso del contenuto d'acqua presente in un'aliquota dell'orizzonte carotato rispetto al peso del medesimo portato a saturazione. Naturalmente nell'impossibilità di conoscere un volume noto quest'ultima determinazione è da considerarsi puramente indicativa.

Nell'ambito della presentazione e discussione dei dati che viene fatta per i quattro siti nei rispettivi sottoparagrafi che seguono, vengono mostrati, per mezzo di grafici, gli andamenti di alcuni parametri ambientali monitorati parallelamente a quelli specifici dei suoli.

I parametri ambientali monitorati sono:

- le precipitazioni avvenute nel periodo di mensilità intercorrente tra un campionamento e l'altro;
- la temperatura media della mensilità intercorrente tra un campionamento e l'altro;
- la profondità della falda freatica dal p.c. e la sua CE al momento del campionamento.

La conoscenza di tali parametri risulta estremamente importante al fine di meglio interpretare i valori dei dati ottenuti dall'analisi del monitoraggio e giustificare i possibili trend. Non si esclude inoltre che i parametri sopra citati possano avere, un valore predittivo per alcune parametri riscontrabili nel suolo, quali la CE ps.

5.3.1. Risultati monitoraggio sito PZ1

A dei valori di CE della falda oscillanti tra il leggermente alto e l'alto riscontrati nei mesi di febbraio e marzo (figura 5.18 e 5.19), si osservano delle CE ps lungo il profilo (figura 5.19) non molto diverse, con valori leggermente superiori (CE ps alta) negli orizzonti intermedi (A/C e Cg₁). Tale accumulo salino viene completamente rimosso nei successivi mesi di aprile e maggio, in virtù delle abbondanti precipitazioni occorse in aprile (figura 5.18 e tabella 5.19), che hanno comportato l'allagamento del sito, un aumento nel contenuto idrico del suolo (% di acqua sulla CIM) (tabella 5.19k) e una sostanziale diluizione dei sali presenti, riscontrabile nell'andamento costante della C.E. lungo il profilo attorno a valori debolmente salini. Seguono i mesi estivi (giugno, luglio e agosto) che evidenziano un notevole incremento nei valori di CE in prossimità degli orizzonti superficiali. Tale incremento indica il progressivo accumulo di sali in superficie a causa dell'aumento di evaporazione dell'acqua di risalita capillare, indotta dalle temperature più elevate e non ostacolata dai ridotti apporti precipitativi (figura 5.18 e tabella 5.19). In giugno tale aumento è solamente accennato, in virtù delle cospicue precipitazioni che hanno interessato il sito durante la mensilità, e delle temperature non ancora altissime. Nei mesi di luglio e agosto si registrano, invece, valori di CE ps nell'orizzonte A rispettivamente molto alti ed estremamente alti. A tale salinità superficiale, si contrappongono valori di CE ps leggermente alti o addirittura normali negli orizzonti più profondi. Questo per effetto della migrazione dei sali verso gli orizzonti superficiali. Con le forti piovosità precedenti il rilievo di settembre si è assistito ad una riomogeneizzazione dei valori di CE ps che nel complesso sono rimasti più alti della situazione pre-estiva: nell'orizzonte A/C la CE ps si è mantenuta molto alta, mentre gli altri orizzonti si sono stabilizzati su valori alti. L'elevato quantitativo di sali accumulatosi in superficie, oltre che negli orizzonti sottostanti, è stato dilavato nella falda la quale, oltre ad essersi innalzata di livello ha assunto un valore di CE molto alto. Nonostante le piogge, nel rilievo di settembre non si osserva un calo medio della CE ps lungo il profilo. Questo sta ad indicare che l'effetto dilavante ha portato ad una ridistribuzione dei sali all'interno del profilo stesso, ma non ad una migrazione di questi in strati più profondi per mezzo della falda. Nel mese di ottobre le basse piovosità hanno portato ad una

riaccumulo dei sali in superficie con un riaumento della CE ps superficiale (molto alta in A e A/C) a scapito di quella in profondità. Solamente nel rilievo di novembre, con l'avvento di altrettante precipitazioni, si è osservato un ritorno dei valori di CE ps paragonabili a quelli primaverili (leggermente alti ed omogenei lungo il profilo). Situazione non molto diversa si è vista in dicembre e allo stesso modo leggermente alti sono stati i valori di CE sulle acque.

Il profilo PZ1 si presenta leggermente salino fino al mese di maggio, con degli accenni di salinità maggiore in febbraio e marzo dovuti ad accumuli temporanei di sali. Durante i mesi di luglio e agosto, i valori di CE ps nei primi orizzonti sono riconducibili a suoli fortemente salini e molto fortemente salini.

Tenendo presente che la salinità della falda è molto bassa per tutto il periodo monitorato, se ne deduce che questa ha un ruolo marginale nella salinizzazione superficiale del profilo (figure 5.18 e 5.19).

Osservando come variano le concentrazioni dei sali disciolti in soluzione nel suolo è possibile risalire alla specie chimica che influenza maggiormente i valori di C.E.. Il calcio (Ca^{2+}), il magnesio (Mg^{2+}) e in parte anche il potassio (K^+) (tabella 5.19b, 5.19c, 5.19d) tendono a comportarsi in maniera piuttosto simile tra loro mostrando un aumento dei valori in prossimità dell'orizzonte superficiale. A differenza dell'andamento della C.E. però, non si riscontrano aumenti significativi nei valori di concentrazione né nell'orizzonte di transizione A/C né in quelli più profondi. Inoltre le maggiori concentrazioni di calcio e potassio non si registrano nel mese di agosto, ma in luglio. Il sodio (Na^+) e il cloro (Cl^-) (tabella 5.19e, 5.19g) invece, hanno un comportamento molto simile a quello della C.E. e sono presenti in concentrazioni piuttosto rilevanti, soprattutto nei mesi estivi. In particolare, nel mese di settembre, è evidente come la diminuzione della C.E. nel primo orizzonte sia dovuta alla lisciviazione del cloruro di sodio (molto solubile) in seguito alle abbondanti precipitazioni. Per questa ragione le specie chimiche più solubili, come Na^+ e Cl^- , vanno a concentrarsi nel sottostante orizzonte A/C che presenta, in effetti, un aumento nel valore di C.E., mentre Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e SO_4^{2-} (tabella 5.19h), essendo dotati di una minore solubilità, tendono a concentrarsi nell'orizzonte superficiale a causa di una lisciviazione più lenta. Inoltre, a causa

dell'intensità dell'evento meteorico si può ipotizzare che i sali più solubili non abbiano fatto in tempo a distribuirsi in maniera omogenea lungo il profilo.

Infine l'andamento del SAR (figura 5.20 e tabella 5.19f) conferma che l'aumento della conduttività elettrica negli orizzonti superficiali dei rilievi di luglio e agosto è dovuto principalmente all'aumento nelle concentrazioni di Na^+ . Infatti il SAR, mostra i valori più alti negli orizzonti superficiali dei mesi di luglio e agosto, e ciò indica una maggiore concentrazione di sodio rispetto alle altre basi solubili. Osservando le figure 5.18 e 5.20 si nota come l'aumento del SAR in superficie sia legato nei mesi estivi alla maggiore evapotraspirazione e come, in settembre, gli alti valori di SAR si spostino negli orizzonti profondi a seguito dell'effetto dilavante delle piogge. L'alta solubilità del Na rende tale elemento molto mobile e sensibile ai fenomeni che inducono spostamenti di acqua nel suolo (es. temperatura e precipitazioni). Di conseguenza anche il valore del SAR si mostra molto variabile in ragione dei movimenti del Na. In ottobre le ridotte precipitazioni hanno riportato il SAR a valori molto alti nei primi due orizzonti superficiali, mentre le precipitazioni di novembre hanno portato ad un generale abbassamento del SAR a valori medi, riconducibile ad un trasporto del Na al di sotto dell'orizzonte saturo campionato.

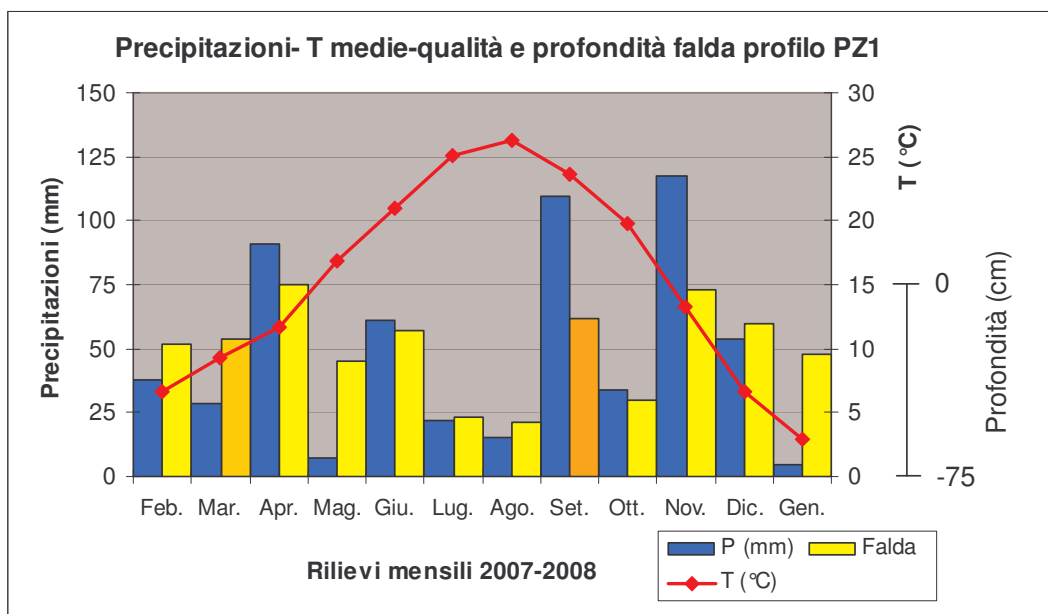


Figura 5.18. Andamento mensile precipitazioni, T medie, CE e profondità di falda nel profilo PZ1.

Un aspetto generale importante per comprendere la distribuzione degli ioni lungo questo e gli altri profili è che essa può dipendere dalla differente solubilità e mobilità dei sali che essi formano, dalle differenti posizioni microtopografiche dei profili e dal livello di assorbimento delle piante (Richardson *et al.*, 2001).

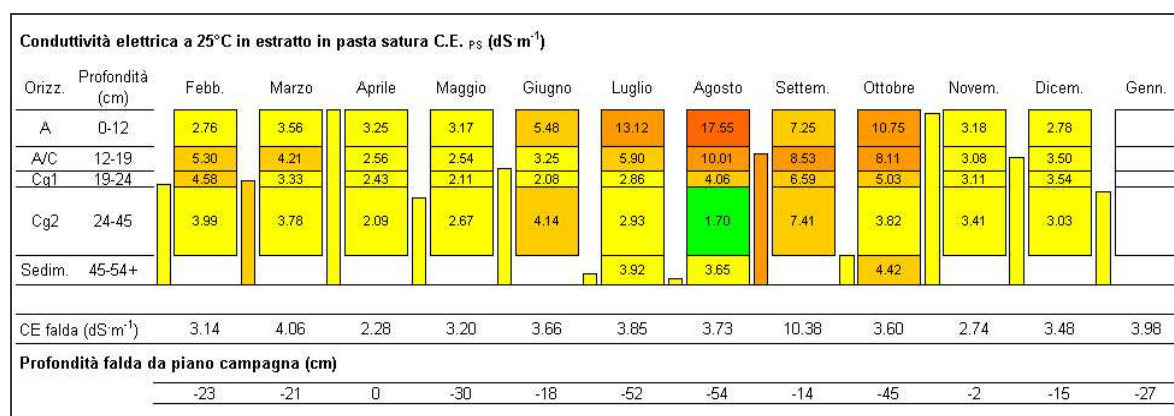


Figura 5.19. Andamento della conduttività elettrica negli orizzonti del profilo PZ1 e nelle acque di falda (Sbaraglia e Lucci, 1994).

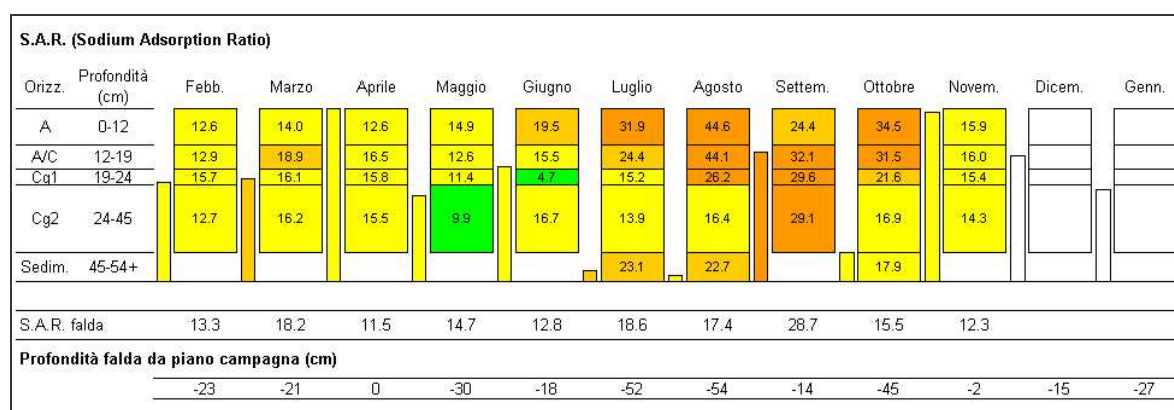
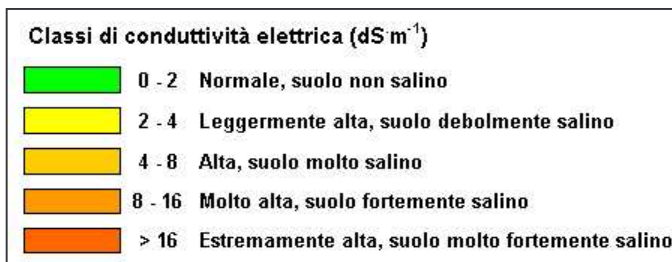


Figura 5.20. Classi di SAR negli orizzonti del profilo PZ1 e nelle acque di falda (MiPAF, 2001).



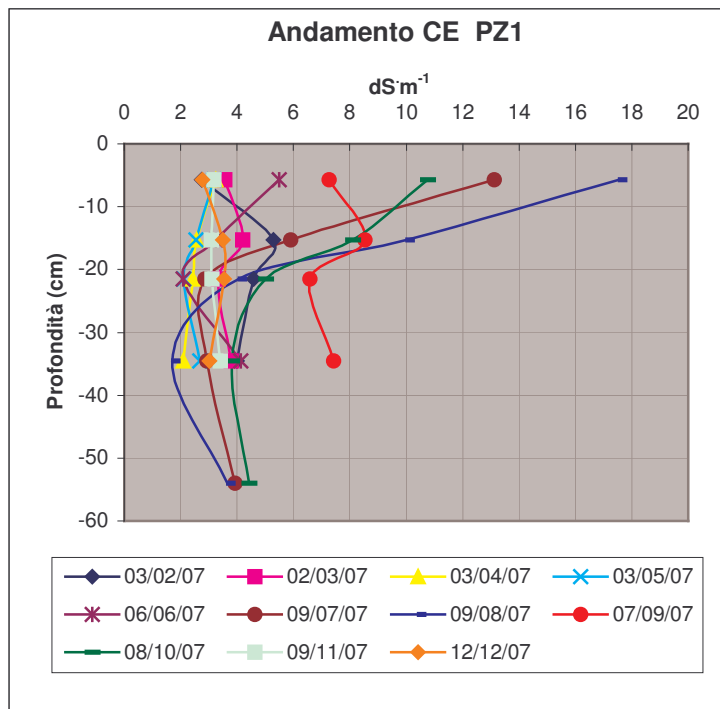


Figura 5.21. Andamento della conduttività elettrica negli orizzonti del profilo PZ1.

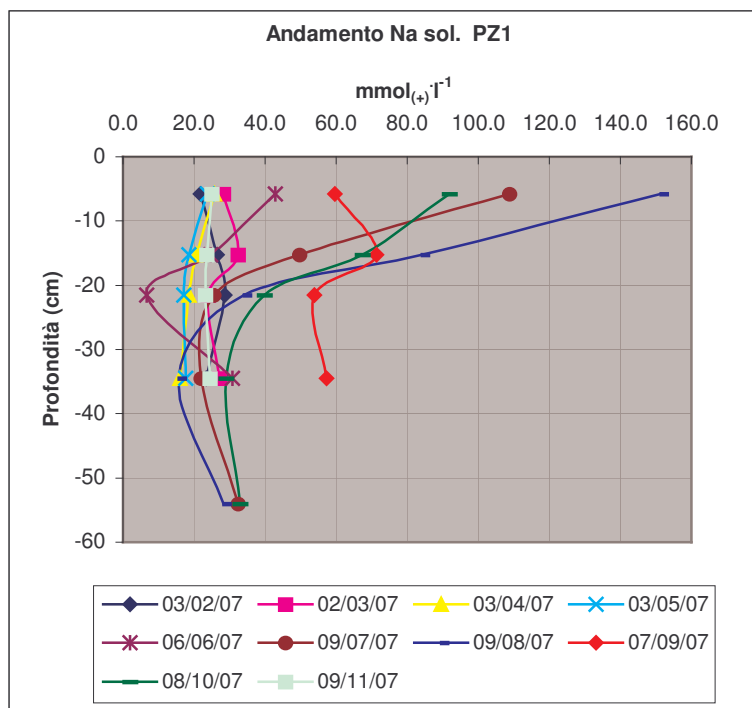


Figura 5.22. Andamento della concentrazione di Na solubile nel profilo PZ1.

Tabella 5.19. Andamento dei parametri monitorati nel profilo PZ1.

a) Conduttività elettrica a 25°C in estratto in pasta satura C.E. _{ps}

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	(cm)	dS m ⁻¹											
A	0-11.5	2.76	3.56	3.25	3.17	5.48	13.12	17.55	7.25	10.75	3.18	2.78	
A/C	11.5-19	5.30	4.21	2.56	2.54	3.25	5.90	10.01	8.53	8.11	3.08	3.50	
Cg ₁	19-24	4.58	3.33	2.43	2.11	2.08	2.86	4.06	6.59	5.03	3.11	3.54	
Cg ₂	24-45	3.99	3.78	2.09	2.67	4.14	2.93	1.70	7.41	3.82	3.41	3.03	
Sedim	45-54+						3.92	3.65		4.42			
Falda		3.14	4.06	2.28	3.20	3.66	3.85	3.727	10.384	3.603	2.740	3.48	3.98

b) Ca²⁺ solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	(cm)	mmol ₍₊₎ l ⁻¹											
A	0-11.5	3.2	4.8	4.5	2.6	4.9	11.5	10.1	6.1	7.1	2.7		
A/C	11.5-19	4.6	3.3	1.9	2.5	3.1	4.5	3.5	5.3	5.0	2.6		
Cg ₁	19-24	3.9	2.6	1.8	2.7	2.6	3.4	2.1	3.9	4.3	2.8		
Cg ₂	24-45	4.0	3.3	1.4	3.4	3.9	2.7	1.2	4.2	4.0	3.6		
Sedim	45-54+						2.0	1.9		4.1			
Falda		2.2	3.0	2.1	2.1	3.4	2.2	3.0	8.1	3.3	3.0		

c) Mg²⁺ solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	(cm)	mmol ₍₊₎ l ⁻¹											
A	0-11.5	2.7	3.5	4.0	2.5	4.7	11.9	13.0	5.9	7.1	2.3		
A/C	11.5-19	3.7	2.6	1.2	1.8	2.0	3.8	3.7	4.6	4.1	1.8		
Cg ₁	19-24	2.8	1.8	1.0	1.9	1.4	2.2	1.3	2.7	2.5	1.8		
Cg ₂	24-45	2.8	2.4	0.7	2.9	2.9	2.3	0.6	3.6	1.9	2.2		
Sedim	45-54+						1.9	1.2		2.7			
Falda		3.1	3.6	2.1	2.5	3.8	3.6	2.7	9.1	2.8	3.2		

d) K⁺ solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	(cm)	mmol ₍₊₎ l ⁻¹											
A	0-11.5	1.4	1.7	1.7	1.4	1.9	4.2	3.0	2.0	2.2	1.3		
A/C	11.5-19	1.1	1.2	0.8	1.2	1.1	1.9	1.9	1.5	1.4	0.9		
Cg ₁	19-24	1.2	1.0	0.7	1.1	0.9	1.4	1.0	1.4	0.9	0.8		
Cg ₂	24-45	1.2	1.3	0.7	1.2	1.3	1.3	0.6	1.9	0.9	0.9		
Sedim	45-54+						1.1	1.0		1.2			
Falda		1.2	2.1	1.1	1.5	1.7	1.9	1.5	2.7	1.5	1.3		

Continuazione tabella 5.19. Andamento dei parametri monitorati nel profilo PZ1.

e) Na⁺ solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	(cm)	mmol ₍₊₎ l ⁻¹											
A	0-11.5	21.8	28.4	25.8	23.8	42.8	108.9	151.3	59.6	91.8	25.1		
A/C	11.5-19	26.4	32.4	20.7	18.5	24.8	49.7	84.1	71.4	67.3	23.7		
Cg ₁	19-24	28.7	24.0	18.6	17.1	6.7	25.5	34.1	53.9	39.8	23.3		
Cg ₂	24-45	23.4	27.2	16.0	17.7	30.8	22.1	15.7	57.4	29.1	24.5		
Sedim	45-54+						32.5	28.2		33.0			
Falda		21.7	33.1	16.6	22.4	24.4	31.7	29.4	84.1	27.0	21.8		

f) S.A.R. (Sodium Absorption Ratio)

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	(cm)												
A	0-11.5	12.6	14.0	12.6	14.9	19.5	31.9	44.6	24.4	34.5	15.9		
A/C	11.5-19	12.9	18.9	16.5	12.6	15.5	24.4	44.1	32.1	31.5	16.0		
Cg ₁	19-24	15.7	16.1	15.8	11.4	4.7	15.2	26.2	29.6	21.6	15.4		
Cg ₂	24-45	12.7	16.2	15.5	9.9	16.7	13.9	16.4	29.1	16.9	14.3		
Sedim	45-54+						23.1	22.7		17.9			
Falda		13.3	18.2	11.5	14.7	12.8	18.6	17.4	28.7	15.5	12.3		

g) Cl⁻ solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	(cm)	mmol ₍₋₎ l ⁻¹											
A	0-11.5	8.9	15.1	10.8	15.9	33.3	104.3	146.7	43.4	78.8	17.4		
A/C	11.5-19	31.2	25.9	13.5	10.3	18.3	39.5	77.1	59.7	60.2	19.7		
Cg ₁	19-24	30.3	20.6	13.2	8.8	7.5	19.3	27.7	47.4	32.4	20.1		
Cg ₂	24-45	25.9	23.1	11.4	10.6	26.5	17.5	9.2	57.4	20.8	26.2		
Sedim	45-54+						28.5	26.6		30.5			
Falda		18.8	29.4	10.6	19.6	21.6	26.2	23.1	73.6	22.7	16.2		

h) SO₄²⁻ solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	(cm)	mmol ₍₋₎ l ⁻¹											
A	0-11.5						11.7	15.1	9.0	10.2			
A/C	11.5-19						4.7	7.5	6.8	7.9			
Cg ₁	19-24						8.5	5.2	7.4	8.2			
Cg ₂	24-45						5.9	3.7	7.4	6.9			
Sedim	45-54+						2.0	3.4		5.4			
Falda							1.4	2.7	8.5				

Continuazione tabella 5.19. Andamento dei parametri monitorati nel profilo PZ1.

i) HCO_3^- solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	(cm)	mmol \cdot l $^{-1}$											
A	0-11.5						17.3	22.3	18.8	18.0			
A/C	11.5-19						13.6	11.1	10.4	11.0			
Cg ₁	19-24						4.4	6.8	6.2	5.2			
Cg ₂	24-45						4.2	4.1	4.1	4.5			
Sedim	45-54+						4.8	3.0		3.5			
Falda							10.1	10.8	20.3	8.6			

j) pH in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	(cm)	pH											
A	0-11.5	7.8			7.7	8.2	7.9	7.7	7.9	8.2	8.3	8.3	
A/C	11.5-19	8.7			8.1	8.3	8.2	7.8	7.6	8.3	8.2	8.3	
Cg ₁	19-24	8.1			8.1	7.5	7.1	7.7	7.7	8.0	7.8	8.4	
Cg ₂	24-45	8.4			7.6	7.7	7.6	7.5	7.7	8.1	8.1	8.2	
Sedim	45-54+				7.7		7.7	7.2		8.0			
Falda		7.5	7.4	7.8	7.3	7.5	7.5	7.7	8.0	8.1	8.3	8.0	8.5

k) Percentuale di acqua rispetto alla Capacità Idrica Massima

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	(cm)	%											
A	0-11.5	62	90	99	88	73	56	53	73	73	95	65	67
A/C	11.5-19	95	68	82	84	77	69	63	100	72	100	75	74
Cg ₁	19-24	98	75	100	95	80	82	75	100	74	100	100	77
Cg ₂	24-45	100	100	100	98	100	90	100	100	88	100	100	92
Sedim	45-54+	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
Precipitazioni avvenute da un rilievo all'altro	mm											
	37.8	28.6	90.8	7.4	61.0	22.2	15.0	109.4	33.6	117.2	54.0	4.6
Temperatura media della mensilità	°C											
	6.6	9.3	11.6	16.8	20.9	25.1	26.3	23.6	19.8	13.3	6.7	2.9
Profondità di falda dal p.c.	cm											
	-23	-21	0	-30	-18	-52	-54	-14	-45	-2	-15	-27

5.3.2. Risultati monitoraggio sito PZ3

Il profilo PZ3 mostra un andamento della CE (figure 5.24, 5.26 e tabella 5.20a) con alcuni caratteri comuni a quelli riscontrati nel PZ1. In entrambi i siti, la notevole presenza di sostanza organica nell'orizzonte organo minerale A favorisce l'accumulo in superficie di sali nel periodo estivo, in virtù del maggior numero di siti di scambio (CSC più elevata) e ciò si riflette nei valori estremamente elevati di CE ps di luglio e agosto. Inoltre, data la scarsa profondità del suolo, le precipitazioni mensili influenzano vistosamente le fluttuazioni della falda freatica, portando alla parziale o totale saturazione idrica degli orizzonti (% di acqua sulla CIM in tabella 5.20k) e a forti cali della CE in falda.

Tuttavia la falda del PZ3, seppur notevolmente influenzata dalle precipitazioni, risulta mediamente molto più salina di quella del PZ1 (figura 5.19, 5.23 e 5.24) e ciò porta ad avere, in molti rilievi, un andamento dei valori di CE ps negli orizzonti crescente con la profondità. Nei campionamenti febbraio e marzo i valori estremamente e molto alti di CE in falda si riflettono sui valori di CE ps, soprattutto negli orizzonti più profondi, mettendo in evidenza il trend di aumento sopra indicato. Le ingenti piovosità precedenti il campionamento di aprile hanno portato anche qui ad una generale diminuzione della CE ps lungo tutto il profilo (valori leggermente alti) che si è riflesso sulla CE di falda, scendendo anch'essa ai medesimi valori. Nei mesi di maggio e giugno si osserva di nuovo una risalinizzazione della falda (valori molto salini di CE) che si ripercuote sul profilo andando a ricreare il trend di aumento verso la profondità. Nei mesi di luglio e agosto, l'elevata temperatura ed il perdurare di scarse piovosità inducono, come nel PZ1, a forti accumuli di sali in superficie, portando la CE ps a valori estremamente alti. Gli eventi piovosi di settembre portano ad una migrazione dei sali dalla superficie alla profondità, più marcata rispetto a quanto osservato nel PZ1: i valori estremamente alti di CE ps si spostano dai primi due orizzonti all'orizzonte Cg₂ e gli aumenti sulla salinità della falda sono altrettanto notevoli (figura 5.24). Non è visibile una migrazione di sali in superficie in ottobre come nel PZ1, ma il persistere di valori estremamente alti di CE in falda, forse legati ad intrusione

marina, porta a valori di CE ps altrettanto alti in tutti gli orizzonti ad eccezione del più superficiale. Le precipitazioni di novembre inducono ad una lisciviazione dei sali dal profilo portando ad un abbassamento generalizzato della CE ps e della CE di falda, anche se il trend di aumento verso la profondità permane. Condizioni non molto diverse sono poi state riscontrate in dicembre. È da osservare che le diminuzioni di CE in falda sembrano essere legate non solo all'effetto diluente delle piovosità, ma anche all'accumulo dei sali in superficie nei mesi di luglio e agosto.

Gli aumenti di CE ps in superficie tipici di suoli in bassure interdunali durante i periodi estivi risulta in linea con quanto riscontrato anche da Alvarez et al. (2007).

L'andamento delle concentrazioni degli ioni solubili segue approssimativamente quello della CE ps degli orizzonti e della CE di falda. In tutti i rilievi si hanno quindi elevati valori di concentrazione in prossimità della falda e, nei soli rilievi di luglio e agosto, si registrano accumuli nell'orizzonte superficiale. In particolare le concentrazioni di Ca^{2+} e il Mg^{2+} (tabella 5.20b, 5.20c) tendono entrambi ad aumentare negli orizzonti a contatto con la falda, mentre per il K^+ (tabella 5.20d) tale incremento è meno accentuato. Il Na^+ (figura 5.27 e tabella 5.20e) e il Cl^- (tabella 5.20g) mostrano un andamento molto simile a quello della C.E.

Il rilievo di settembre risulta interessante in quanto mette in evidenza come il trend di aumento della CE ps con la profondità sia interrotto nei due orizzonti intermedi A/C e Cg₁ (figura 5.26). Questa interruzione è legato alla non completa migrazione verso il basso delle forme saline meno solubili evidenziate negli andamenti di Ca^{2+} e Mg^{2+} e SO_4^{2-} (tabella 5.20b, 5.20c, 5.20h) a differenza di quelli relativi a Na^+ e Cl^- (figura 5.27 e tabella 5.20e, 5.20g).

Gli aumenti del SAR con la profondità sono abbastanza in relazione con quelli della CE ps durante i mesi non estivi (figura 5.25). Si passa dai valori bassi di SAR nell'orizzonte A dei rilievi di febbraio marzo e aprile a quelli alti e molto alti nell'orizzonte Cg₂. Verso la superficie nel periodo estivo la relazione tra SAR e CE ps appare meno forte.

Si osserva infatti come, in luglio e agosto, a parità di CE ps, il SAR non si spinga a valori alti quanto quelli del PZ1. L'effetto del sodio sul SAR, legato alla

sua migrazione in superficie, sembra essere mitigato dall'altrettanto elevata concentrazione di Ca^{2+} e Mg^{2+} la cui provenienza è forse riconducibile al rilascio dei due cationi bivalenti dal complesso di scambio dove questi sono presenti in aliquote maggiori che nel PZ1.

Questo mette in evidenza come l'andamento della CE ps del PZ3 sia maggiormente condizionato anche dalle altre forme ioniche diverse da Na e Cl.

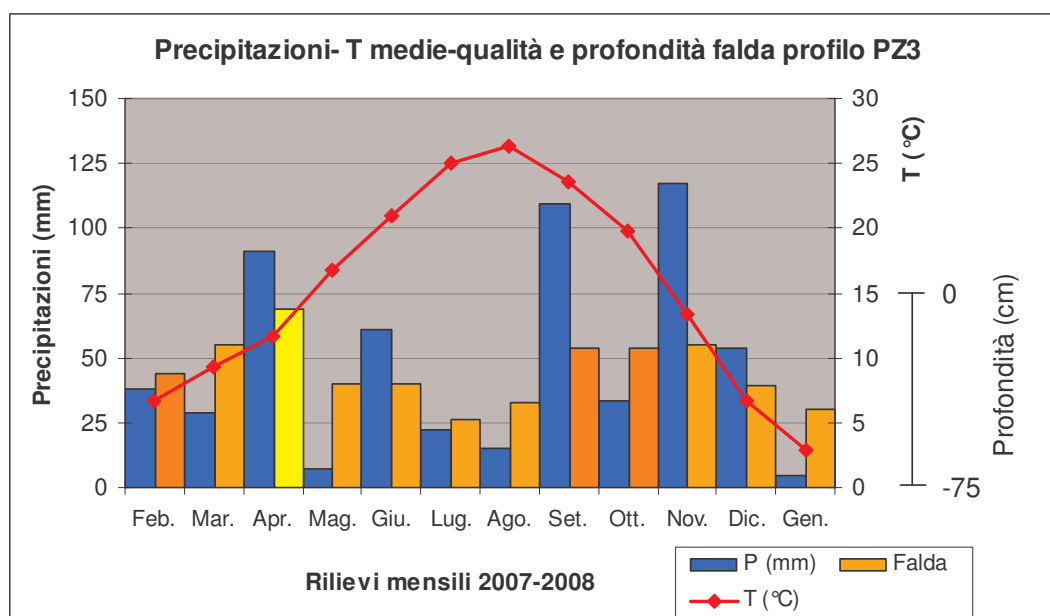


Figura 5.23. Andamento mensile precipitazioni, T medie, CE e profondità di falda nel profilo PZ3.

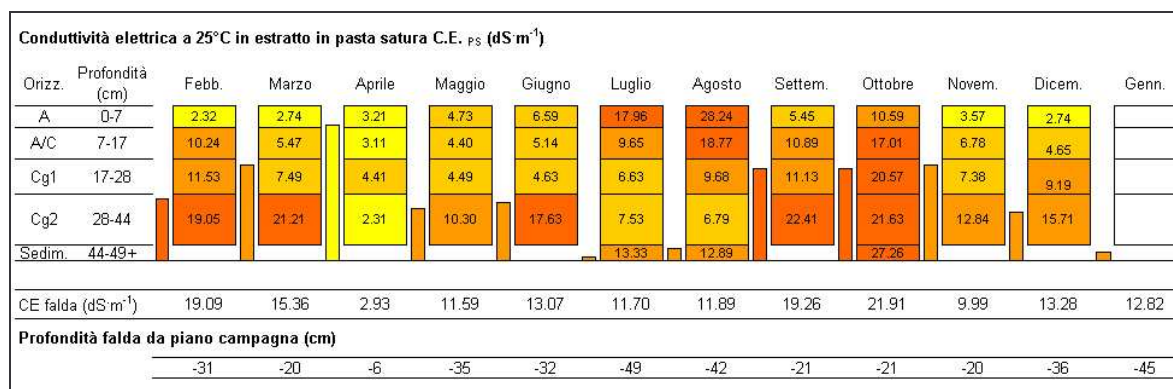


Figura 5.24. Andamento della conduttività elettrica negli orizzonti del profilo PZ3 e nelle acque di falda (Sbaraglia e Lucci, 1994).

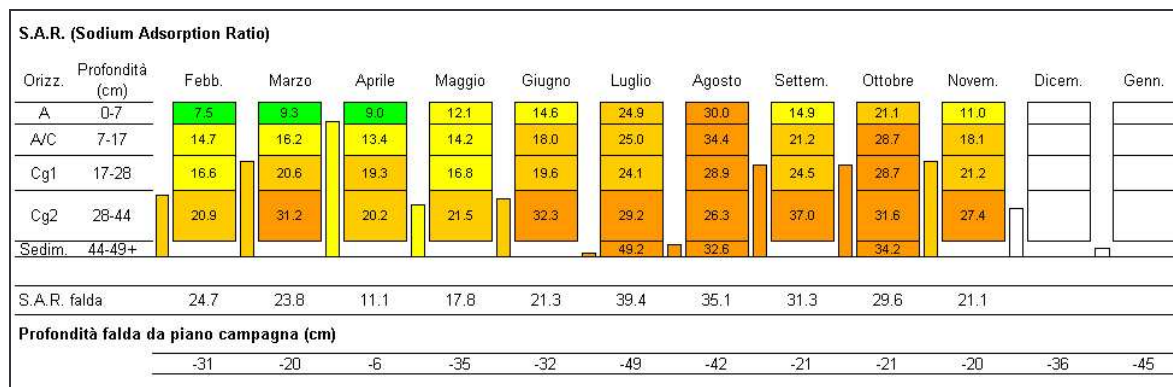
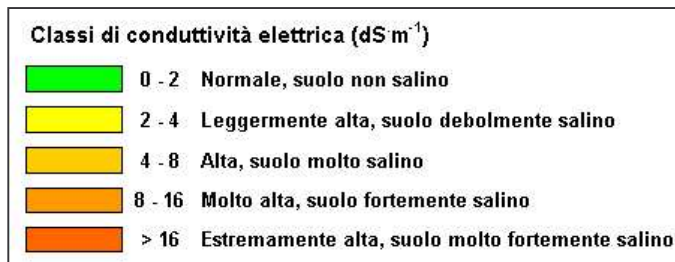


Figura 5.25. Classi di SAR negli orizzonti del profilo PZ3 e nelle acque di falda (MiPAF, 2001)



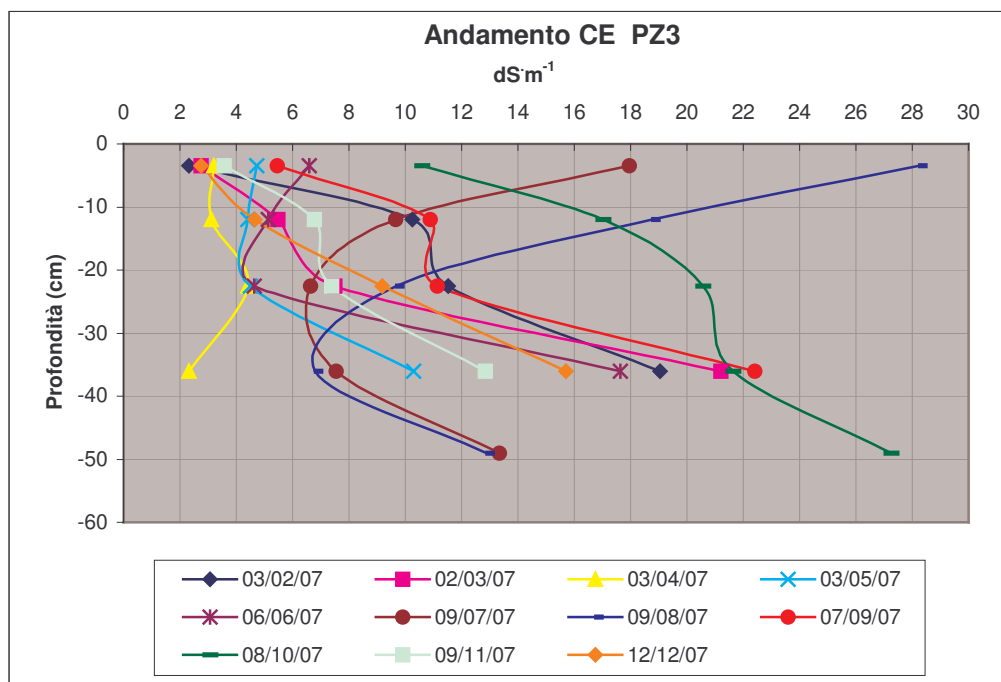


Figura 5.26. Andamento della conduttività elettrica nel profilo PZ3.

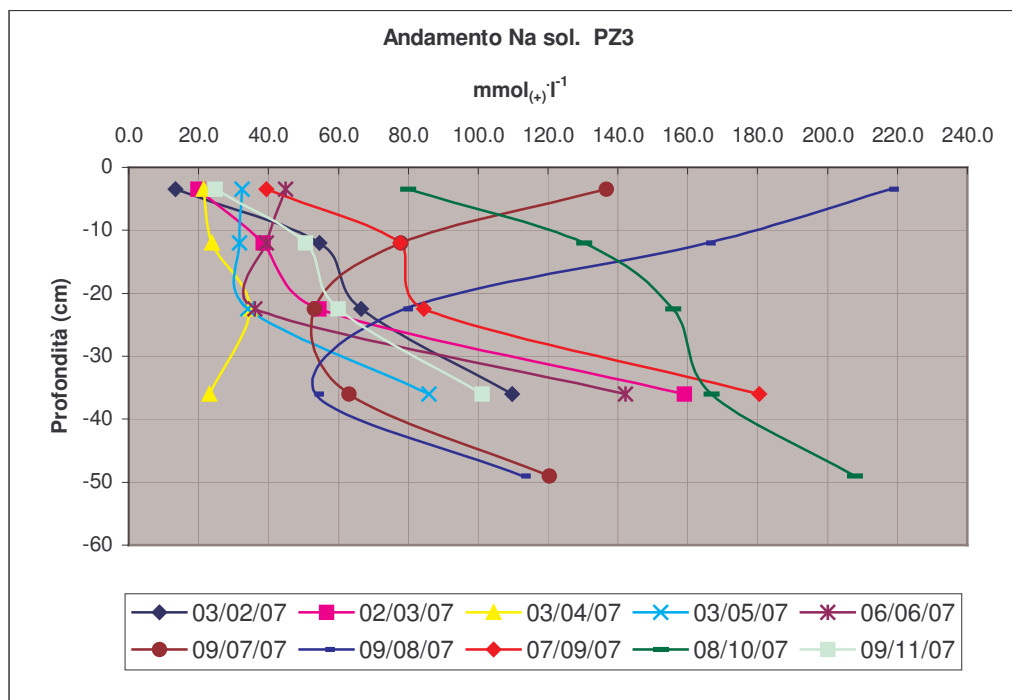


Figura 5.27. Andamento della concentrazione di Na solubile nel profilo PZ3.

Tabella 5.20. Andamento dei parametri monitorati nel profilo PZ3.

a) Conduttività elettrica a 25°C in estratto in pasta satura C.E. _{PS}

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	dS m ⁻¹											
A	0-7	2.32	2.74	3.21	4.73	6.59	17.96	28.24	5.45	10.59	3.57	2.74	
A/C	7-17	10.24	5.47	3.11	4.40	5.14	9.65	18.77	10.89	17.01	6.78	4.65	
Cg ₁	17-28	11.53	7.49	4.41	4.49	4.63	6.63	9.68	11.13	20.57	7.38	9.19	
Cg ₂	28-44	19.05	21.21	2.31	10.30	17.63	7.53	6.79	22.41	21.63	12.84	15.71	
Sedim	44-49+						13.33	12.89		27.26			
Falda		19.09	15.36	2.93	11.59	13.07	11.70	11.890	19.262	21.911	9.995	13.28	12.82

b) Ca²⁺ solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	mmol ₍₊₎ l ⁻¹											
A	0-7	4.1	6.0	7.3	8.7	12.1	38.9	64.7	9.0	18.8	6.6		
A/C	7-17	17.2	7.6	4.2	6.4	6.4	12.9	27.8	17.2	24.5	9.9		
Cg ₁	17-28	20.7	9.5	4.4	5.6	4.7	6.7	9.7	15.5	37.5	10.3		
Cg ₂	28-44	35.5	31.8	1.9	21.6	24.8	6.5	5.7	25.4	33.4	18.9		
Sedim	44-49+						8.0	16.0		43.5			
Falda		38.3	26.6	4.0	17.2	18.3	7.9	11.5	25.4	37.0	15.3		

c) Mg²⁺ solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	mmol ₍₊₎ l ⁻¹											
A	0-7	2.2	3.0	3.9	5.7	6.7	21.2	40.6	5.0	10.0	3.5		
A/C	7-17	10.2	3.8	2.1	3.7	3.2	6.5	18.4	9.7	16.7	5.7		
Cg ₁	17-28	11.4	4.4	2.1	2.6	2.1	3.1	5.2	8.3	21.5	5.7		
Cg ₂	28-44	19.7	20.1	0.7	10.4	14.0	2.8	2.6	22.2	22.3	8.5		
Sedim	44-49+						3.9	7.8		30.3			
Falda		23.3	16.2	2.3	11.1	11.9	5.7	6.7	19.6	26.7	9.9		

d) K⁺ solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	mmol ₍₊₎ l ⁻¹											
A	0-7	0.9	0.6	0.6	0.5	0.5	1.9	2.2	0.7	0.6	0.5		
A/C	7-17	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.5	0.4	0.3		
Cg ₁	17-28	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.3		
Cg ₂	28-44	0.5	0.7	0.2	0.5	0.7	0.4	0.3	0.6	0.7	0.4		
Sedim	44-49+						0.4	0.9		0.8			
Falda		0.4	0.4	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.3		

Continuazione tabella 5.20. Andamento dei parametri monitorati nel profilo PZ3.

e) Na⁺ solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	mmol ₍₊₎ l ⁻¹											
A	0-7	13.4	19.9	21.4	32.5	44.9	136.7	218.0	39.4	79.8	24.6		
A/C	7-17	54.6	38.5	23.8	31.8	39.5	77.9	165.6	77.7	130.2	50.6		
Cg ₁	17-28	66.5	54.3	34.7	34.1	36.1	53.2	79.0	84.5	155.8	59.8		
Cg ₂	28-44	109.7	159.1	23.1	85.9	142.2	63.1	53.4	180.4	166.7	101.2		
Sedim	44-49+						120.4	112.6		207.8			
Falda		136.9	109.9	19.7	66.9	82.6	102.9	106.0	148.3	167.0	74.9		

f) S.A.R. (Sodium Absorption Ratio)

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm												
A	0-7	7.5	9.3	9.0	12.1	14.6	24.9	30.0	14.9	21.1	11.0		
A/C	7-17	14.7	16.2	13.4	14.2	18.0	25.0	34.4	21.2	28.7	18.1		
Cg ₁	17-28	16.6	20.6	19.3	16.8	19.6	24.1	28.9	24.5	28.7	21.2		
Cg ₂	28-44	20.9	31.2	20.2	21.5	32.3	29.2	26.3	37.0	31.6	27.4		
Sedim	44-49+						49.2	32.6		34.2			
Falda		24.7	23.8	11.1	17.8	21.3	39.4	35.1	31.3	29.6	21.1		

g) Cl⁻ solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	mmol ₍₊₎ l ⁻¹											
A	0-7	8.9	12.0	13.3	23.5	42.4	159.1	261.9	33.5	78.8	21.3		
A/C	7-17	73.9	34.4	16.8	24.9	33.6	72.4	180.5	80.1	141.9	47.4		
Cg ₁	17-28	86.7	52.9	27.7	25.3	30.4	46.7	72.2	87.5	179.9	63.7		
Cg ₂	28-44	164.7	185.9	32.2	94.0	143.7	56.1	50.4	194.1	190.5	108.8		
Sedim	44-49+						106.6	100.5		250.2			
Falda		160.5	126.6	17.3	88.7	97.1	83.7	91.8	163.8	187.6	78.4		

h) SO₄²⁻ solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	mmol ₍₊₎ l ⁻¹											
A	0-7						25.7	43.0	10.0	16.0			
A/C	7-17						13.7	29.2	17.6	25.5			
Cg ₁	17-28						12.3	13.4	16.0	29.6			
Cg ₂	28-44						14.9	9.4	33.7	24.0			
Sedim	44-49+						18.7	20.5		36.1			
Falda							16.3	15.4	27.8				

Continuazione tabella 5.20. Andamento dei parametri monitorati nel profilo PZ3.

i) HCO_3^- solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	mmol $_{\text{c}}$ l $^{-1}$											
A	0-7						13.4	13.0	12.0	15.6			
A/C	7-17						8.5	8.0	9.1	8.6			
Cg ₁	17-28						5.7	5.6	4.6	3.4			
Cg ₂	28-44						4.9	4.5	1.5	2.3			
Sedim	44-49+						3.3	2.1		2.1			
Falda							10.6	15.9	10.7	11.7			

j) pH in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	pH											
A	0-7	7.3			8.1	7.9	7.8	7.6	7.5	7.9	8.2	7.9	
A/C	7-17	7.6			7.9	7.7	7.8	7.8	7.7	8.1	8.1	8.3	
Cg ₁	17-28	7.6			8.0	7.5	8.3	7.9	7.7	7.9	7.9	8.0	
Cg ₂	28-44	7.7			7.8	7.5	8.2	7.3	7.4	7.6	7.8	7.8	
Sedim	44-49+						7.3	7.1		7.5			
Falda		6.8	7.6	7.7	7.0	7.0	7.0	7.3	7.3	7.4	7.8	7.6	8.0

k) Percentuale di acqua rispetto alla Capacità Idrica Massima

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	%											
A	0-7	61	87	99	97	72	59	58	69	84	95	58	61
A/C	7-17	88	72	86	85	85	77	67	75	82	79	64	68
Cg ₁	17-28	97	86	100	95	96	90	84	100	90	97	78	86
Cg ₂	28-44	98	96	100	95	100	91	100	100	100	100	83	81
Sedim	44-49+	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
Precipitazioni avvenute da un rilievo all'altro	mm											
	37.8	28.6	90.8	7.4	61.0	22.2	15.0	109.4	33.6	117.2	54.0	4.6
Temperatura media della mensilità	°C											
	6.6	9.3	11.6	16.8	20.9	25.1	26.3	23.6	19.8	13.3	6.7	2.9
Profondità di falda dal p.c.	cm											
	-31	-20	-6	-35	-32	-49	-42	-21	-21	-20	-36	-45

5.3.3. Risultati monitoraggio sito PZ4

L'andamento della CE ps del profilo PZ4 (figure 5.29, 5.31 e tabella 5.21a) evidenzia come siano soprattutto gli orizzonti più profondi ad essere influenzati dalla falda freatica la quale, in virtù della vicinanza alle Piallasse, si presenta estremamente alta (figura 5.28) in tutto il periodo di monitoraggio. I valori di CE ps osservati negli orizzonti superficiali (A_1 e A_2) sono normali in tutti i rilievi e ciò denota la scarsa presenza di sali in superficie, in virtù della notevole distanza che separa questi orizzonti dalla falda. Inoltre l'orizzonte A_1 mostra, per la quasi totalità del periodo monitorato, valori di CE ps di poco superiori al sottostante orizzonte A_2 e ciò è probabilmente imputabile alla presenza di aerosols marini. La natura sabbiosa del substrato e la scarsa presenza di sostanza organica, agevolano la lisciviazione dei sali verso gli orizzonti profondi. Infatti, l'andamento della C.E. dei mesi di aprile e maggio, mostra rispetto ai mesi precedenti una diminuzione dei valori che interessa i primi 73 cm di profondità (fino all'orizzonte C_1), dovuta alle abbondanti precipitazioni avvenute in aprile che hanno contribuito alla migrazione dei sali verso gli orizzonti più profondi.

La CE ps negli orizzonti inferiori di substrato aumenta comunque approssimandosi alla CE di falda in prossimità della tavola d'acqua (valori estremamente alti).

Nei mesi di giugno luglio e agosto si assiste ad una progressiva diminuzione del livello della falda, e ad un incremento della sua CE (oltre 28 dS/m in agosto). In tale periodo i valori di CE ps negli orizzonti di substrato, pur presentando un trend di aumento verso il basso, subiscono inizialmente una lieve flessione (luglio) per l'effetto di allontanamento dalla falda. Nel mese di agosto, invece, i bassi contenuti di umidità negli orizzonti C (% di acqua sulla CIM in tabella 5.21k) e le alte temperature rendono predominante l'effetto di risalita capillare e si osserva un aumento della CE ps che si attesta a valori molto alti sino all'orizzonte C_2 . I valori molto alti di CE ps negli orizzonti C_2 e C_{g1} permangono anche in settembre. Nei successivi mesi autunnali e di dicembre si assiste ad un progressivo innalzamento della falda sino ad 1 m dal p.c., la quale trasmette i suoi valori estremamente alti di CE al suolo sino all'orizzonte C_2 . Benché la CE ps di gennaio sia stata estrapolata

mediante Monteleone (2003) dalla CE 1:2.5, nel rilievo si osserva che l'abbassamento di falda porta ad un abbassamento della CE ps nell'orizzonte C₂, facendo assumere a tale proprietà un trend simile a quello osservato nel primo campionamento di febbraio. Dagli andamenti complessivi si può osservare come le precipitazioni influenzino il livello della falda freatica, ma anche come l'effetto diluente di queste sulla salinità della falda nel PZ4 sia pressoché irrilevante, segno evidente che la salinità derivi per intrusione del cuneo salino dagli orizzonti sottostanti.

Il trend di aumento della CE ps dagli orizzonti superficiali a quelli più profondi risulta in linea con quanto riscontrato anche da Alvarez et al. (2007) per suoli litoranei sviluppatisi in sommità di duna.

Osservando l'andamento degli ioni presenti in soluzione negli orizzonti del profilo, si nota che il Ca²⁺ (tabella 5.21b) a differenza degli altri cationi (tabella 5.21c, 5.21d, 5.21e), non aumenta in maniera decisa negli orizzonti a contatto con la falda. Il Ca²⁺, inoltre, nei rilievi di marzo, luglio, agosto e settembre, mostra concentrazioni elevate negli orizzonti centrali del profilo, legate alla presenza di carbonati. Si può quindi affermare che il valore di CE ps riscontrato nell'orizzonte C₁ di questi rilievi sia imputabile alla presenza del Ca²⁺ la cui presenza è superiore a quella del Na⁺ (tabella 5.21e) e limita l'aumento dei valori del SAR (figura 5.30 e tabella 5.21f). L'aumento della CE ps che si osserva negli orizzonti a contatto con la falda è invece imputabile alla presenza in soluzione di elevate concentrazioni soprattutto di Cl⁻ e Na⁺, ma anche di Mg²⁺ e SO₄²⁻ che assieme tendono ad assumere rapporti di concentrazione simili a quelli dell'acqua di mare (tabella 5.21e, 5.21g, 5.21h). Anche il Ca²⁺, rilasciato dai carbonati, assume i valori maggiori nell'orizzonte più profondo ma la sua presenza non è sufficiente ad abbassare il SAR che, nell'orizzonte Cg2, risulta molto alto.

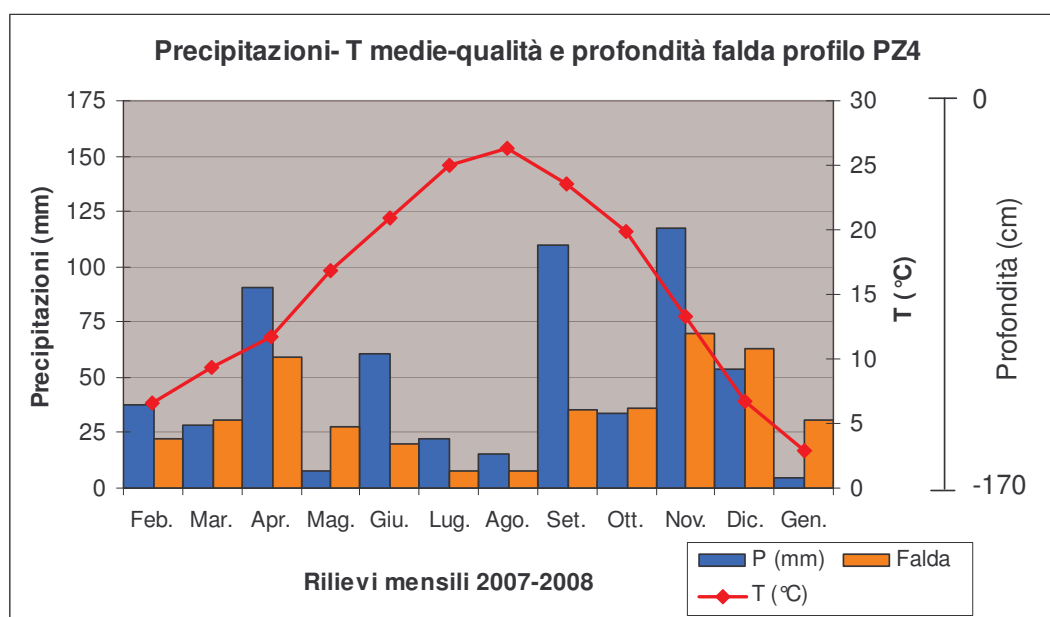


Figura 5.28. Andamento mensile precipitazioni, T medie, CE e profondità di falda nel profilo PZ4.

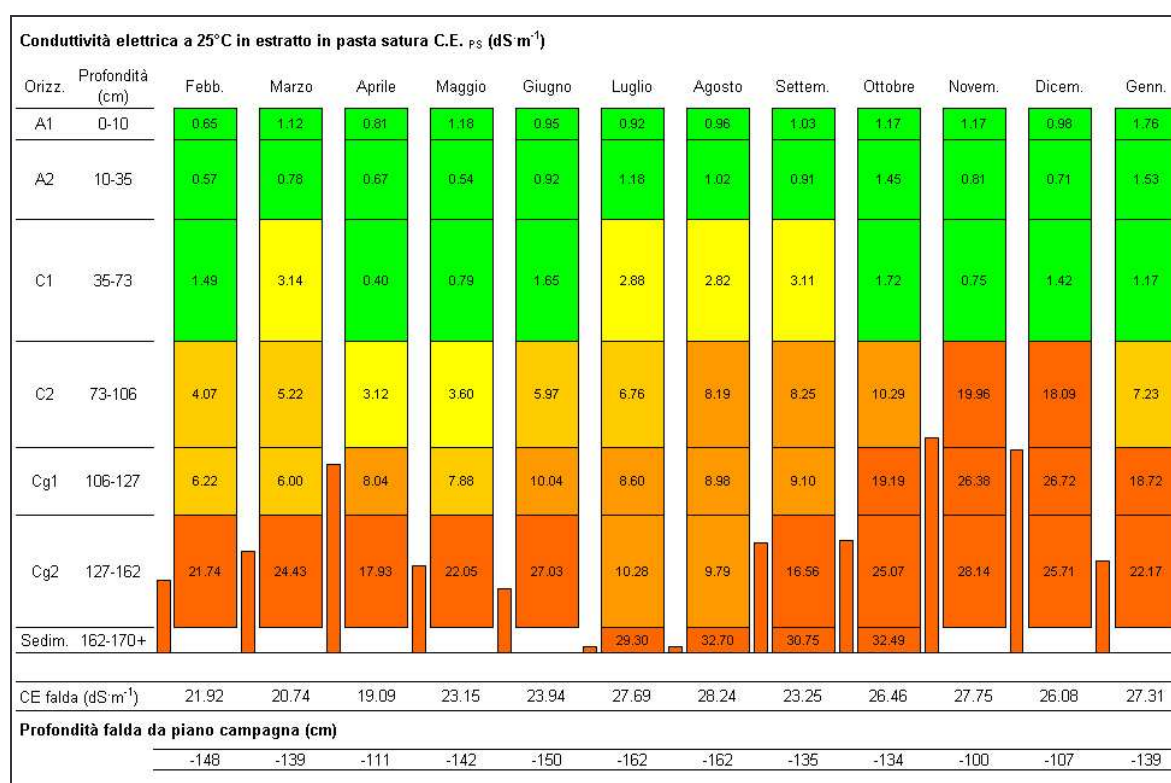


Figura 5.29. Andamento della conduttività elettrica negli orizzonti del profilo PZ4 e nelle acque di falda (Sbaraglia e Lucci, 1994).

Classi di conduttività elettrica (dS m^{-1})

- 0 - 2 Normale, suolo non salino**
- 2 - 4 Leggermente alta, suolo debolmente salino**
- 4 - 8 Alta, suolo molto salino**
- 8 - 16 Molto alta, suolo fortemente salino**
- > 16 Estremamente alta, suolo molto fortemente salino**

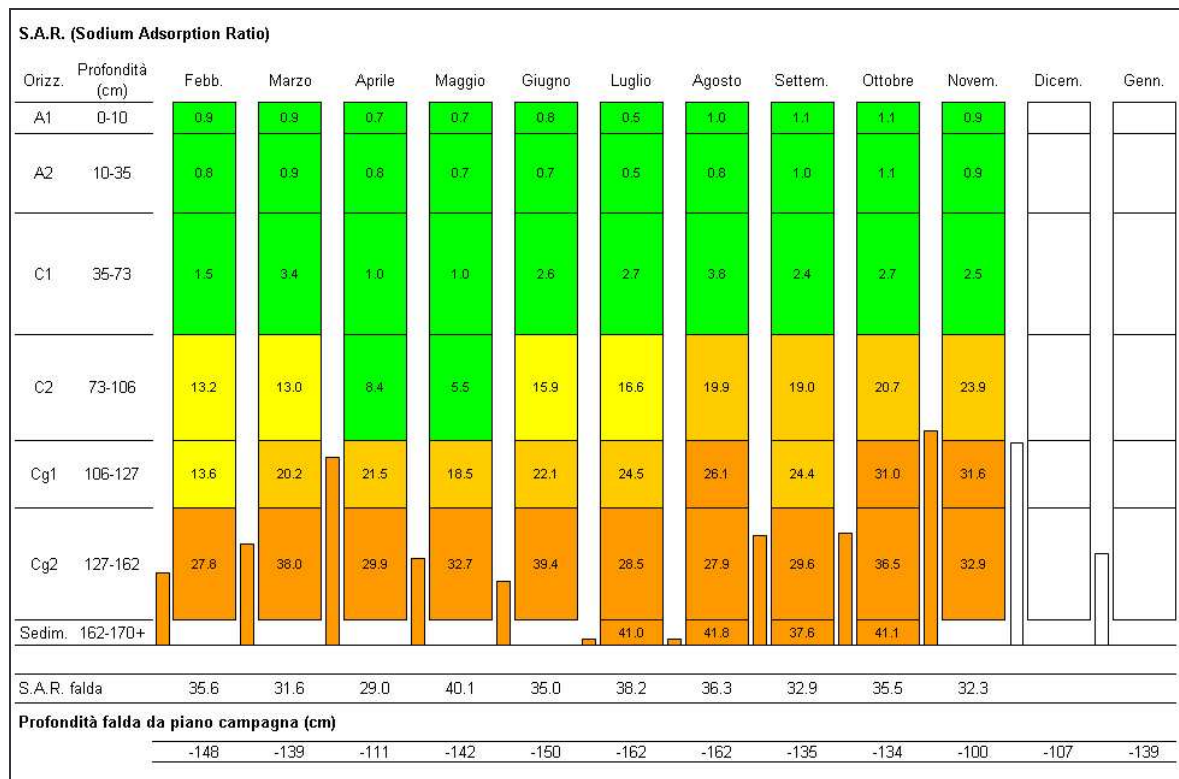


Figura 5.30. Classi di SAR negli orizzonti del profilo PZ4 e nelle acque di falda (MiPAF, 2001)



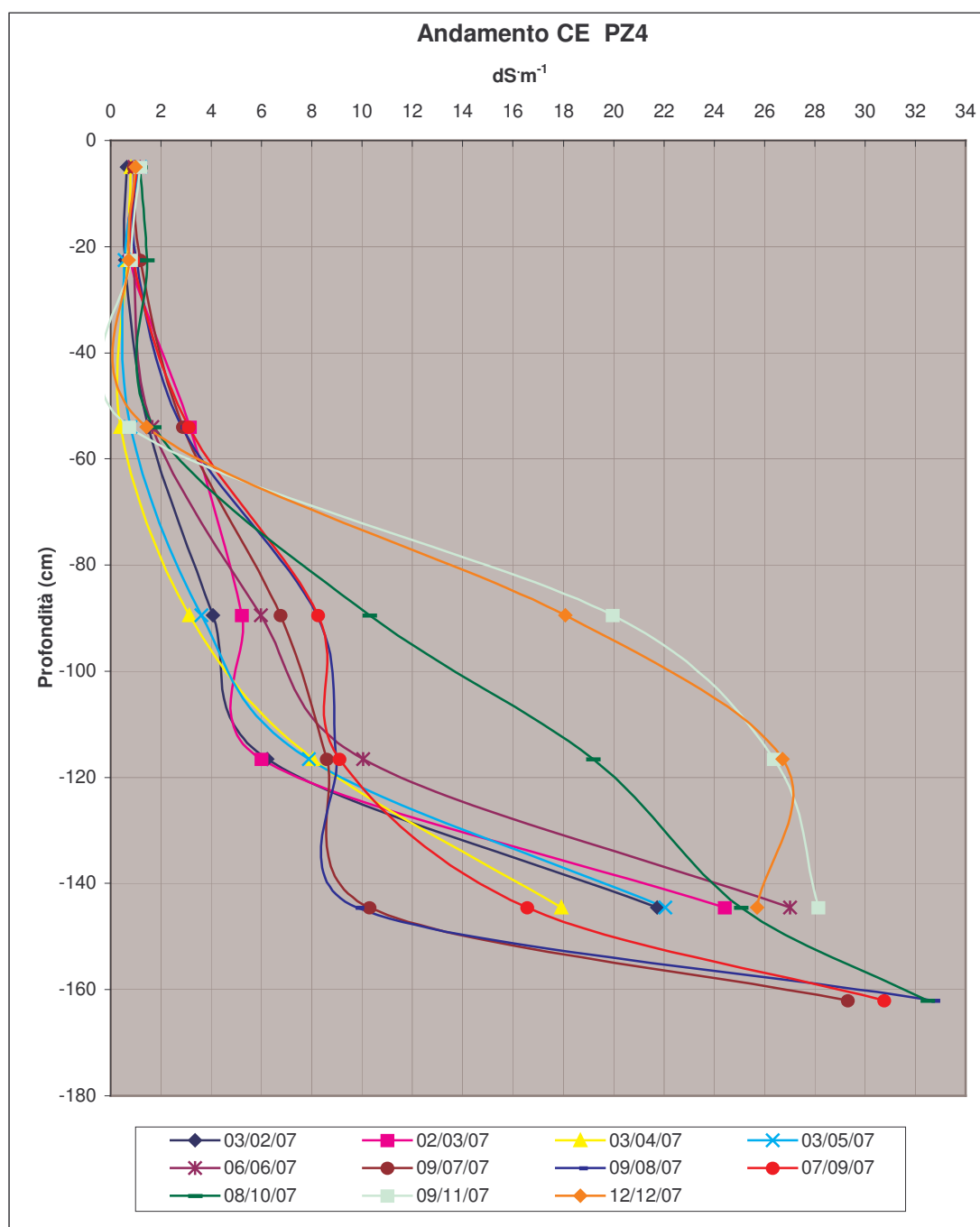


Figura 5.31. Andamento della conduttività elettrica nel profilo PZ4.

Tabella 5.21. Andamento dei parametri monitorati nel profilo PZ4.

a) Conduttività elettrica a 25°C in estratto in pasta satura C.E. _{ps}

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	dS m ⁻¹											
A ₁	0-10	0.65	1.12	0.81	1.18	0.95	0.92	0.96	1.03	1.17	1.17	0.98	1.76 *
A ₂	10-35	0.57	0.78	0.67	0.54	0.92	1.18	1.02	0.91	1.45	0.81	0.71	1.53 *
C ₁	35-73	1.49	3.14	0.40	0.79	1.65	2.88	2.82	3.11	1.72	0.75	1.42	1.17 *
C ₂	73-106	4.07	5.22	3.12	3.60	5.97	6.76	8.19	8.25	10.29	19.96	18.09	7.23 *
Cg ₁	106-127	6.22	6.00	8.04	7.88	10.04	8.60	8.98	9.10	19.19	26.38	26.72	18.72 *
Cg ₂	127-162	21.74	24.43	17.93	22.05	27.03	10.28	9.79	16.56	25.07	28.14	25.71	22.17 *
Sedim	162-170+						29.30	32.70	30.75	32.49			
Falda		21.92	20.74	19.09	23.15	23.94	27.69	28.235	23.247	26.46	27.751	26.08	27.31

b) Ca²⁺ solubile in estratto in pasta satura

* : estrapolato dalla CE 1:2.5 mediante il modello di Monteleone (2003).

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	mmol ₍₊₎ l ⁻¹											
A ₁	0-10	5.1	8.0	6.3	7.7	6.6	8.8	6.2	5.8	8.6	8.8		
A ₂	10-35	4.4	5.0	4.8	3.5	7.2	10.8	7.5	6.1	11.1	5.3		
C ₁	35-73	8.1	12.6	2.3	4.0	7.4	17.6	13.8	15.9	8.1	3.3		
C ₂	73-106	5.3	8.1	8.3	10.5	9.3	11.6	11.1	14.4	16.8	40.0		
Cg ₁	106-127	4.3	3.9	7.8	10.4	12.6	7.1	6.3	7.4	20.4	38.4		
Cg ₂	127-162	18.0	22.6	22.9	28.7	26.6	7.0	5.9	13.9	19.5	49.9		
Sedim	162-170+						23.0	23.5	21.0	26.5			
Falda		20.5	23.5	18.3	23.0	19.4	20.4	22.5	18.4	23.6	49.5		

c) Mg²⁺ solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	mmol ₍₊₎ l ⁻¹											
A ₁	0-10	1.5	2.2	1.8	2.7	1.8	1.6	1.9	2.2	2.0	2.4		
A ₂	10-35	1.1	0.9	1.1	0.8	1.7	2.0	2.1	1.7	2.6	1.2		
C ₁	35-73	2.4	2.9	0.6	1.0	1.7	3.7	3.8	3.0	2.2	0.7		
C ₂	73-106	2.6	3.1	2.7	4.0	4.0	4.9	6.2	5.7	8.8	25.3		
Cg ₁	106-127	3.9	3.3	6.0	6.1	8.7	7.7	7.4	7.9	23.7	42.5		
Cg ₂	127-162	29.1	26.9	27.0	35.7	36.5	10.7	9.4	21.3	39.1	35.4		
Sedim	162-170+						49.4	57.8	52.6	53.9			
Falda		27.3	26.3	25.2	18.9	28.0	47.7	53.0	39.6	45.9	43.2		

Continuazione tabella 5.21. Andamento dei parametri monitorati nel profilo PZ4.

d) K⁺ solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	mmol ₍₊₎ l ⁻¹											
A ₁	0-10	0.0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.3	0.3		
A ₂	10-35	0.0	0.2	0.2	0.1	0.3	0.3	0.5	0.3	0.3	0.3		
C ₁	35-73	0.0	0.3	0.1	0.1	0.4	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2		
C ₂	73-106	0.4	0.7	0.3	0.5	0.9	0.9	1.2	0.9	1.3	2.4		
Cg ₁	106-127	0.9	1.3	1.5	1.4	1.8	1.7	1.5	1.8	2.6	3.9		
Cg ₂	127-162	5.7	6.5	3.7	3.5	5.3	2.3	1.9	2.5	3.8	3.5		
Sedim	162-170+						8.6	5.9	4.7	3.9			
Falda		6.9	5.2	4.6	0.4	6.9	10.8	5.9	4.6	5.1	5.1		

e) Na⁺ solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	mmol ₍₊₎ l ⁻¹											
A ₁	0-10	1.7	2.1	1.4	1.6	1.7	1.2	2.1	2.2	2.4	2.1		
A ₂	10-35	1.3	1.6	1.3	1.0	1.5	1.4	1.8	2.0	2.8	1.6		
C ₁	35-73	3.4	9.5	1.2	1.5	5.5	8.8	11.4	7.4	6.2	3.5		
C ₂	73-106	26.3	30.7	19.7	14.7	41.1	47.7	58.4	60.0	74.0	136.9		
Cg ₁	106-127	27.4	38.3	56.7	53.1	72.2	66.7	68.1	67.7	145.5	200.8		
Cg ₂	127-162	134.8	189.2	149.4	185.5	221.3	84.8	77.2	124.1	197.7	214.9		
Sedim	162-170+						246.7	266.6	228.3	260.5			
Falda		174.0	157.7	135.3	183.6	170.1	223.1	223.4	177.0	209.0	219.6		

f) S.A.R. (Sodium Absorption Ratio)

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm												
A ₁	0-10	0.9	0.9	0.7	0.7	0.8	0.5	1.0	1.1	1.1	0.9		
A ₂	10-35	0.8	0.9	0.8	0.7	0.7	0.5	0.8	1.0	1.1	0.9		
C ₁	35-73	1.5	3.4	1.0	1.0	2.6	2.7	3.8	2.4	2.7	2.5		
C ₂	73-106	13.2	13.0	8.4	5.5	15.9	16.6	19.9	19.0	20.7	23.9		
Cg ₁	106-127	13.6	20.2	21.5	18.5	22.1	24.5	26.1	24.4	31.0	31.6		
Cg ₂	127-162	27.8	38.0	29.9	32.7	39.4	28.5	27.9	29.6	36.5	32.9		
Sedim	162-170+						41.0	41.8	37.6	41.1			
Falda		35.6	31.6	29.0	40.1	35.0	38.2	36.3	32.9	35.5	32.3		

Continuazione tabella 5.21. Andamento dei parametri monitorati nel profilo PZ4.

g) Cl⁻ solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	mmol _(c) l ⁻¹											
A ₁	0-10	1.0	3.2	0.9	1.0	2.0	1.1	3.2	3.5	3.2	2.9		
A ₂	10-35	1.0	2.6	1.0	0.7	2.0	1.2	1.6	2.9	2.9	2.4		
C ₁	35-73	10.0	22.2	1.0	3.4	9.7	15.2	19.8	13.8	8.4	3.4		
C ₂	73-106	28.0	37.1	21.7	26.7	42.8	50.7	65.6	63.8	83.5	186.6		
Cg ₁	106-127	45.2	41.6	58.4	59.0	75.6	66.8	68.5	70.8	166.6	254.1		
Cg ₂	127-162	191.8	212.4	171.9	226.7	241.2	80.9	76.9	138.0	228.9	273.6		
Sedim	162-170+						269.2	314.4	289.4	310.0			
Falda		186.7	182.8	154.4	204.8	200.0	248.5	261.6	196.3	235.7	265.8		

h) SO₄²⁻ solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	mmol _(c) l ⁻¹											
A ₁	0-10						0.4	1.0	0.3	1.0			
A ₂	10-35						0.4	0.7	0.1	0.7			
C ₁	35-73						2.3	2.5	1.7	1.3			
C ₂	73-106						8.6	10.0	10.5	10.2			
Cg ₁	106-127						12.3	11.4	11.5	19.6			
Cg ₂	127-162						13.1	11.5	20.1	25.2			
Sedim	162-170+						36.0	40.7	35.7	34.8			
Falda							33.6	35.0	29.1				

i) HCO₃⁻ solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	mmol _(c) l ⁻¹											
A ₁	0-10						9.3	5.8	3.2	7.8			
A ₂	10-35						10.5	9.2	5.7	10.8			
C ₁	35-73						8.2	3.8	3.5	5.8			
C ₂	73-106						4.0	2.8	2.2	2.5			
Cg ₁	106-127						2.4	2.7	2.3	2.0			
Cg ₂	127-162						2.0	2.1	1.3	2.1			
Sedim	162-170+						1.7	1.0	1.4	1.4			
Falda							5.9	10.0	11.6	10.3			

Continuazione tabella 5.21. Andamento dei parametri monitorati nel profilo PZ4.

j) pH in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	pH											
A ₁	0-10	6.7			7.8	7.7	7.8	7.4	7.3	8.2	8.1	7.8	
A ₂	10-35	7.9			7.5	7.8	7.7	7.5	7.8	8.3	8.1	8.1	
C ₁	35-73	8.2			7.8	7.8	7.7	7.3	7.4	8.3	8.1	8.1	
C ₂	73-106	8.7			7.1	7.6	7.7	7.2	7.5	7.8	7.5	7.6	
Cg ₁	106-127	9.0			7.1	7.6	7.3	7.1	7.5	7.6	7.5	7.7	
Cg ₂	127-162	8.4				7.4	7.0	7.2	7.5	7.5	7.5	7.7	
Sedim	162-170+						6.8	6.9	7.5	7.5			
Falda		7.3	7.8	7.7	7.1	7.2	7.1	7.2	7.2	7.3	7.7	7.5	7.9

k) Percentuale di acqua rispetto alla Capacità Idrica Massima

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	%											
A ₁	0-10	11	24	39	13	19	5	13	17	18	30	24	22
A ₂	10-35	12	19	21	10	16	7	7	22	18	21	39	18
C ₁	35-73	5	13	22	16	19	9	7	9	28	52	55	27
C ₂	73-106	35	31	49	34	36	21	20	34	89	89	82	58
Cg ₁	106-127	80	76	89	54	65	55	62	78	79	100	100	78
Cg ₂	127-162	100	98	100	90	97	95	100	100	100	100	100	95
Sedim	162-170+	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
Precipitazioni avvenute da un rilievo all'altro	mm											
	37.8	28.6	90.8	7.4	61.0	22.2	15.0	109.4	33.6	117.2	54.0	4.6
Temperatura media della mensilità	°C											
	6.6	9.3	11.6	16.8	20.9	25.1	26.3	23.6	19.8	13.3	6.7	2.9
Profondità di falda dal p.c.	cm											
	-148	-139	-111	-142	-150	-162	-162	-135	-134	-100	-107	-139

5.3.4. Risultati monitoraggio sito PZ7

Il profilo PZ7, rispetto agli altri tre oggetto di monitoraggio, mostra un andamento della C.E. (figura 5.33 e tabella 5.22a) molto variabile sia da un orizzonte all'altro sia da un rilievo all'altro; tale andamento, inoltre, non evidenzia in maniera così marcata un aumento dei suoi valori né in prossimità degli orizzonti superficiali né in quelli profondi. Ciò è legato in primo luogo alla presenza di una falda con CE alta (figura 5.32), ma che mai raggiunge i valori del PZ3 e tanto meno quelli del PZ4; in secondo luogo la falda non è ne troppo prossima al p.c. da causare il forte accumulo di sali in superficie come visto in PZ1 e PZ3 nei mesi più caldi e secchi, ne troppo profonda (es. PZ4) da evitare che, una seppur parziale aliquota di sali, riesca ad accumularsi per risalita capillare nei primi orizzonti entro la fine della stagione estiva.

Rispetto al PZ4, la maggior vicinanza della falda freatica al p.c. anche durante i minimi estivi (figura 5.32 e 5.33), permette al contenuto idrico di mantenersi più omogeneo lungo il profilo (si veda la % di acqua sulla CIM in tabella 5.22k), consentendo a tutti gli orizzonti di venire interessati dalla migrazione dei sali per risalita capillare.

Da febbraio a giugno, il profilo PZ7 presenta valori di CE ps normali nei primi orizzonti superficiali. In profondità la CE ps risente in diversa misura della CE di falda specialmente quando questa si attesta a livelli più vicini al p.c. saturandone parte degli orizzonti. Generalmente nei mesi in cui si evidenzia un certo trend si passa da una CE ps leggermente alta ad una alta più in profondità. In luglio anche il primo orizzonte diventa debolmente salino ed in agosto si osserva un discreto aumento di CE ps in superficie per l'accumulo dei sali (CE ps alta) Negli orizzonti intermedi la CE ps si abbassa a valori normali per poi salire sino a valori molto alti al di sotto dell'ultimo orizzonte diagnosticato. In settembre e ottobre si assiste ad una ridistribuzione dei valori di CE ps per effetto della lisciviazione e la ripresa di un trend di aumento della CE ps verso il basso, con gli effetti della falda a CE alta che si fanno sentire nei due orizzonti più profondi. In novembre e dicembre la CE ps ritorna a valori normali in superficie.

Osservando come variano le concentrazioni dei principali ioni solubili presenti nel profilo PZ7, è possibile comprendere a quale specie chimica sia imputabile

l'andamento dei valori di CE ps riscontrato in alcuni rilievi. In luglio, agosto e settembre ad esempio, l'aumento della CE ps degli orizzonti superficiali è imputabile principalmente alla presenza di Cl^- e Ca^{2+} (tabella 5.22b, 5.22g), e solo secondariamente a quella del Na^+ (tabella 5.22e), come confermano i bassi valori di SAR (figura 5.34 e tabella 5.22f) degli orizzonti A e A/C. Rispetto agli andamenti della CE ps il Na (tabella 5.22e) tende ad assumere un trend di aumento dalla superficie alla profondità più definito nei vari mesi, mentre nel calcio si osserva la chiara inversione di trend nei mesi estivi (tabella 5.22b). Anche qui non si esclude che una cospicua aliquota di Ca^{2+} nel complesso di scambio dell'orizzonte A possa interagire con la frazione in soluzione. Gli altri elementi quali Mg^{2+} , K^+ , Cl^- e SO_4^{2-} assumono comportamenti intermedi non sempre riconducibili ad un fattore di causa evidente (tabella 5.22c, 5.22d, 5.22h).

L'andamento del SAR (figura 5.34 e tabella 5.22f) conferma che, durante il periodo monitorato, il Na^+ ha un ruolo marginale nel determinare l'andamento della C.E. nel profilo PZ7. Su gran parte dei rilievi si hanno SAR bassi per tutto il profilo o per buona parte di esso. Inoltre l'accumulo salino superficiale di agosto non dipende sostanzialmente dal sodio. Solamente i rilievi di luglio e agosto hanno evidenziato una sodicizzazione più accentuata, limitatamente al di sotto dell'ultimo orizzonte diagnostico rilevato (SAR alto).

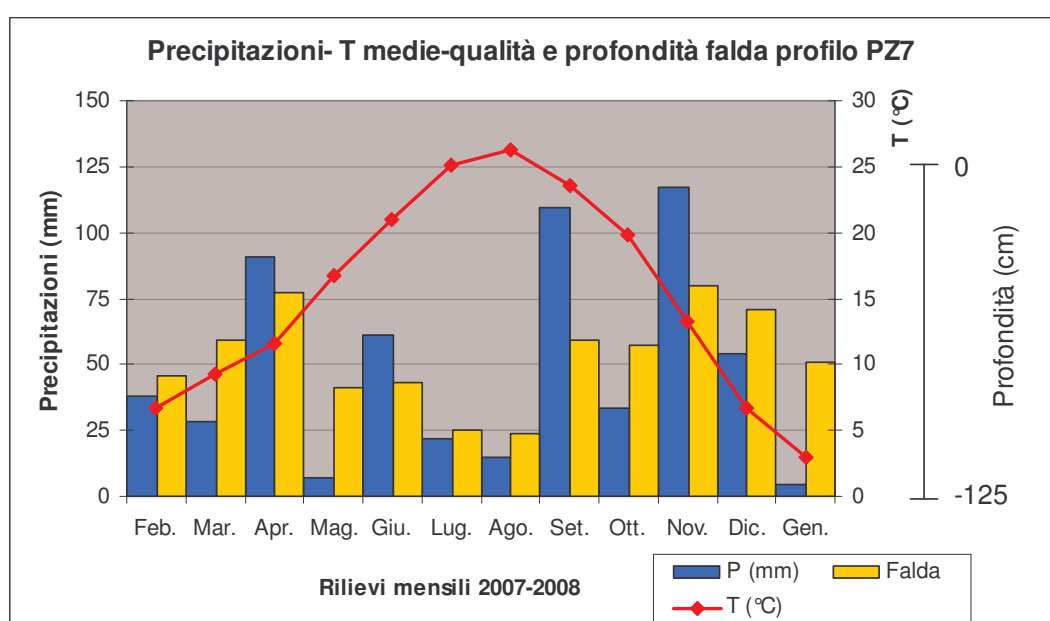


Figura 5.32. Andamento mensile precipitazioni, T medie, CE e profondità di falda nel profilo PZ7.

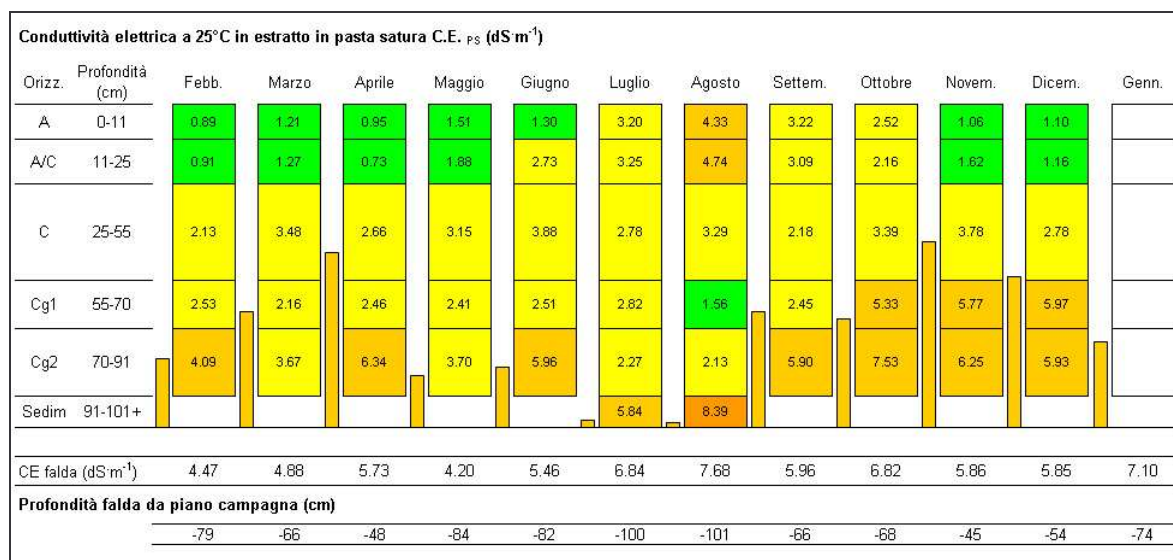


Figura 5.33. Andamento della conduttività elettrica negli orizzonti del profilo PZ7 e nelle acque di falda (Sbaraglia e Lucci, 1994).

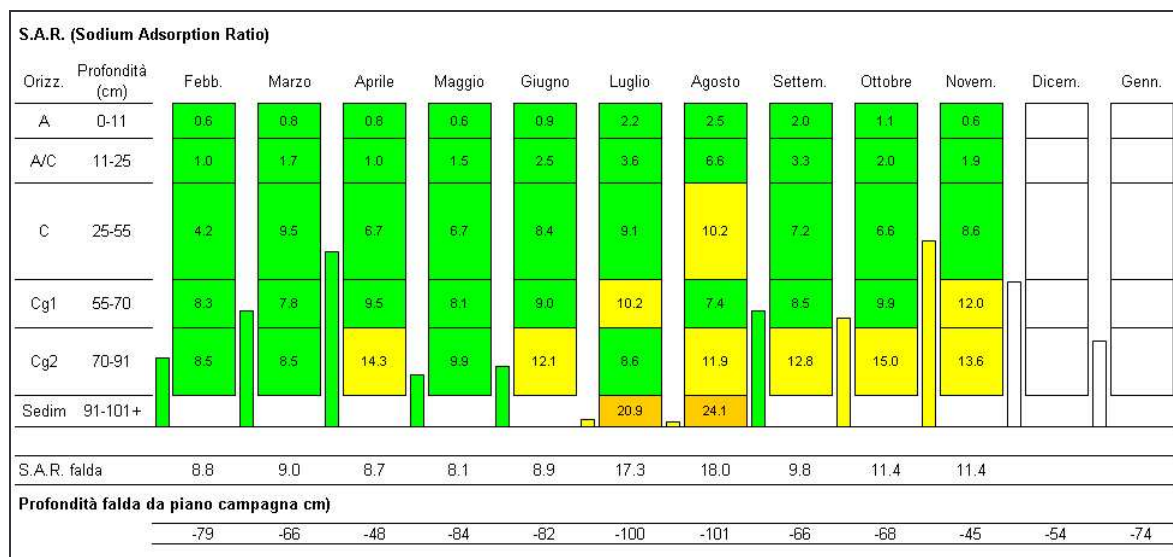
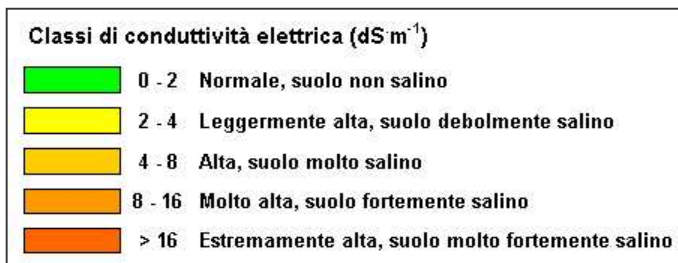


Figura 5.34. Classi di SAR negli orizzonti del profilo PZ7 e nelle acque di falda (MiPAF, 2001)



Tabella 5.22. Andamento dei parametri monitorati nel profilo PZ7.

a) Conduttività elettrica a 25°C in estratto in pasta satura C.E. _{ps}

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	dS m ⁻¹											
A	0-11	0.89	1.21	0.95	1.51	1.30	3.20	4.33	3.22	2.52	1.06	1.10	
A/C	11-25	0.91	1.27	0.73	1.88	2.73	3.25	4.74	3.09	2.16	1.62	1.16	
C	25-55	2.13	3.48	2.66	3.15	3.88	2.78	3.29	2.18	3.39	3.78	2.78	
Cg ₁	55-70	2.53	2.16	2.46	2.41	2.51	2.82	1.56	2.45	5.33	5.77	5.97	
Cg ₂	70-91	4.09	3.67	6.34	3.70	5.96	2.27	2.13	5.90	7.53	6.25	5.93	
Sedim	91-101+						5.84	8.39					
Falda		4.47	4.88	5.73	4.20	5.46	6.84	7.68	5.96	6.82	5.86	5.85	7.10

b) Ca²⁺ solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	mmol ₍₊₎ l ⁻¹											
A	0-11	7.3	8.4	6.5	9.1	9.6	19.1	25.7	18.5	15.7	7.5		
A/C	11-25	6.1	6.9	4.8	9.4	14.4	15.9	17.9	16.1	11.8	8.5		
C	25-55	6.3	6.9	6.5	7.6	9.8	6.1	5.1	4.1	9.7	8.1		
Cg ₁	55-70	3.0	2.6	2.9	3.2	4.0	4.2	2.1	3.5	10.6	8.4		
Cg ₂	70-91	5.5	5.8	7.1	8.0	10.0	3.4	1.9	9.1	12.2	9.1		
Sedim	91-101+						5.5	7.0					
Falda		9.6	6.0	8.6	9.4	11.5	8.1	10.5	11.0	12.8	11.3		

c) Mg²⁺ solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	mmol ₍₊₎ l ⁻¹											
A	0-11	1.4	2.6	2.0	3.1	2.5	5.0	6.3	5.4	4.7	2.0		
A/C	11-25	1.4	1.7	1.2	2.7	3.8	3.9	5.1	4.0	3.1	2.4		
C	25-55	2.2	3.7	2.8	3.4	4.7	2.3	4.0	2.7	4.3	4.4		
Cg ₁	55-70	2.4	2.2	2.8	2.6	2.7	3.4	1.8	2.9	9.4	9.3		
Cg ₂	70-91	5.7	4.3	8.6	5.6	9.1	3.0	1.5	8.2	10.9	8.6		
Sedim	91-101+						4.4	6.7					
Falda		5.7	9.7	11.1	6.5	10.6	8.5	9.7	13.0	13.2	11.4		

Continuazione tabella 5.22. Andamento dei parametri monitorati nel profilo PZ7.

d) K⁺ solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	mmol ₍₊₎ l ⁻¹											
A	0-11	0.4	0.4	0.3	0.5	0.5	0.8	0.9	0.7	0.6	0.6		
A/C	11-25	0.1	0.3	0.3	0.5	0.5	0.8	0.8	0.7	0.6	0.3		
C	25-55	0.2	0.6	0.6	0.6	0.7	0.5	0.5	0.4	0.7	0.6		
Cg ₁	55-70	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.2	0.3	0.6	0.6		
Cg ₂	70-91	0.1	0.2	0.5	0.9	0.5	0.3	0.2	0.4	0.4	0.5		
Sedim	91-101+						0.3	0.4					
Falda		0.4	0.4	0.6	0.3	0.5	0.4	0.5	0.6	0.6	1.1		

e) Na⁺ solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	mmol ₍₊₎ l ⁻¹											
A1	0-11	1.3	1.9	1.7	1.5	2.1	7.6	9.8	6.9	3.4	1.2		
A/C	11-25	2.0	3.5	1.6	3.7	7.7	11.5	22.3	10.5	5.5	4.5		
Cg1	25-55	8.6	22.0	14.5	15.7	22.5	18.8	21.8	13.3	17.4	21.5		
Cg2	55-70	13.7	12.1	16.1	13.8	16.5	19.9	10.3	15.3	31.2	35.5		
Cg3	70-91	20.2	19.0	40.0	25.8	37.5	15.3	15.5	37.6	51.2	40.5		
Sedim	91-101+						46.6	62.9					
Falda		24.4	25.2	27.4	22.7	29.5	49.8	57.1	34.0	41.2	38.3		

f) S.A.R. (Sodium Absorption Ratio)

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm												
A	0-11	0.6	0.8	0.8	0.6	0.9	2.2	2.5	2.0	1.1	0.6		
A/C	11-25	1.0	1.7	1.0	1.5	2.5	3.6	6.6	3.3	2.0	1.9		
C	25-55	4.2	9.5	6.7	6.7	8.4	9.1	10.2	7.2	6.6	8.6		
Cg ₁	55-70	8.3	7.8	9.5	8.1	9.0	10.2	7.4	8.5	9.9	12.0		
Cg ₂	70-91	8.5	8.5	14.3	9.9	12.1	8.6	11.9	12.8	15.0	13.6		
Sedim	91-101+						20.9	24.1					
Falda		8.8	9.0	8.7	8.1	8.9	17.3	18.0	9.8	11.4	11.4		

Continuazione tabella 5.22. Andamento dei parametri monitorati nel profilo PZ7.

g) Cl^- solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	mmol _(c) l ⁻¹											
A	0-11	1.0	2.9	1.8	6.5	3.8	21.6	29.5	21.1	15.8	2.9		
A/C	11-25	2.4	5.1	1.3	8.5	16.1	21.1	31.7	19.3	13.0	2.9		
C	25-55	13.2	22.6	15.9	20.1	34.5	18.4	22.6	13.8	23.1	28.7		
Cg ₁	55-70	15.9	12.7	14.8	14.3	15.6	17.5	9.9	15.8	40.7	45.3		
Cg ₂	70-91	29.4	24.9	46.9	29.1	44.8	14.3	13.5	44.8	59.3	52.7		
Sedim	91-101+						47.3	64.9					
Falda		27.8	30.8	35.9	25.8	34.5	45.9	57.2	40.8	47.6	43.9		

h) SO_4^{2-} solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	mmol _(c) l ⁻¹											
A1	0-11						5.3	6.4	4.7	3.0			
A/C	11-25						5.2	9.1	5.3	1.6			
Cg1	25-55						4.3	5.0	2.3	3.7			
Cg2	55-70						4.2	2.0	2.1	6.2			
Cg3	70-91						2.7	2.1	5.5	7.5			
Sedim	91-101+						6.7	8.7					
Falda							7.3	7.4	6.4				

i) HCO_3^- solubile in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	mmol _(c) l ⁻¹											
A	0-11						5.6	6.2	7.8	6.5			
A/C	11-25						3.3	5.4	5.3	5.9			
C	25-55						5.0	5.0	3.1	3.9			
Cg ₁	55-70						4.7	3.2	3.5	3.2			
Cg ₂	70-91						4.0	2.6	2.4	2.2			
Sedim	91-101+						2.4	1.5					
Falda							5.9	12.6	11.2	11.6			

Continuazione tabella 5.22. Andamento dei parametri monitorati nel profilo PZ7.

j) pH in estratto in pasta satura

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	pH											
A	0-11	7.5					7.8	7.7	8.0	8.2	8.1	7.8	
A/C	11-25	7.8					8.0	7.8	7.9	8.2	8.1	8.3	
C	25-55	8.3					8.3	7.8	8.0	8.2	7.9	8.0	
Cg ₁	55-70	8.7					8.0	7.5	8.1	8.0	7.9	8.1	
Cg ₂	70-91	8.6					6.9	7.3	7.7	8.0	7.8	8.0	
Sedim	91-101+						6.5	7.1					
Falda		7.2	8.0	7.9	7.2	7.3	7.1	7.2	7.4	7.3	8.0	7.8	7.9

k) Percentuale di acqua rispetto alla Capacità Idrica Massima

Orizz.	Profondità	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
	cm	%											
A	0-11	28	28	39	38	37	16	32	34	31	50	32	28
A/C	11-25	31	31	36	30	35	19	20	36	38	78	49	40
C	25-55	65	63	79	59	54	39	41	75	68	98	79	68
Cg ₁	55-70	93	93	82	93	95	66	88	100	90	100	100	84
Cg ₂	70-91	95	99	99	94	100	94	94	100	100	100	100	100
Sedim	91-101+	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

	03/02/07	02/03/07	03/04/07	03/05/07	06/06/07	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07	09/11/07	12/12/07	10/01/08
Precipitazioni avvenute da un rilievo all'altro	mm											
	37.8	28.6	90.8	7.4	61.0	22.2	15.0	109.4	33.6	117.2	54.0	4.6
Temperatura media della mensilità	°C											
	6.6	9.3	11.6	16.8	20.9	25.1	26.3	23.6	19.8	13.3	6.7	2.9
Profondità di falda dal p.c.	cm											
	-79	-66	-48	-84	-82	-100	-101	-66	-68	-45	-54	-74

5.3.5. Risultati analisi acqua di mare

Per comprendere in che misura i principali ioni solubili, determinati nel suolo, provengano dalla matrice solida, oppure abbiano possibile origine marina e subiscano variazioni di concentrazione soltanto per l'effetto diluente dell'acqua piovana o di acquiferi di acqua dolce, è stato necessario confrontare questi parametri con gli stessi presenti in un campione di acqua di mare. Si è quindi provveduto ad analizzare un campione di acqua di mare prelevato in località Marina Romea in data 29/07/2007.

I parametri analizzati sono mostrati in tabella 5.23. Nelle principali specie cationiche, le deviazioni standard non mostrano grosse variabilità ad eccezione del K^+ , anche se la minor concentrazione rende la misura meno ripetibile. Le cariche negative superano quelle positive, ma solamente del 3%. Per avere una stima dell'accuratezza di tali analisi sono stati presi come riferimento i valori medi dei parametri dell'acqua di mare a 25 °C e con salinità di 35 g/kg (tabella 5.24), indicati da bibliografia (<http://cdiac.esd.ornl.gov/ftp/cdiac74/chapter5.pdf>).

Sono stati messi a confronto i valori dei parametri analizzati con i valori teorici di un campione avente medesima CE a 25 °C, in cui si assume una diluizione delle concentrazioni ioniche linearmente dipendente dalla CE stessa, a partire dai valori riportati in tabella 5.24 (a). La differenza tra valori effettivi e teorici risulta per le principali forme ioniche al di sotto del 6%, con l'eccezione del K^+ . Nel complesso l'accuratezza dei dati sull'acqua di mare può dirsi abbastanza buona.

Tabella 5.23. Parametri analizzati nel campione di acqua di mare.

	CE a 25°C	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SAR	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
	dS·m ⁻¹	mmol ₍₊₎ ·l ⁻¹					mmol ₍₋₎ ·l ⁻¹		
Media	51.26	448.0	19.4	105.8	13.1	56.6	546.9	53.9	2.7
Dev. St.	0.43	17.6	1.1	3.7	1.9				
Dev. St. %	0.85	3.9	5.6	3.5	14.2				
Cariche cationi (mmol ₍₊₎ ·l ⁻¹)	586.3								
Cariche anioni (mmol ₍₋₎ ·l ⁻¹)	603.6								
Differenza di carica (mmol ₍₊₎ ·l ⁻¹) *	-17.3								
Differenza di carica (%) *	-3.0								

* : cationi - anioni

Tabella 5.24. (a) Proprietà chimico fisiche dell'acqua di mare in condizioni di temperatura = 25 °C e di salinità = 35 g/kg (<http://cdiac.esd.ornl.gov/ftp/cdiac74/chapter5.pdf>).

(b) Calcolo dell'accuratezza dei valori ottenuti sui valori teorici.

(a)	Densità	CE	Na⁺	Ca²⁺	Mg²⁺	K⁺	SAR	Cl⁻	SO₄²⁻
	kg l⁻¹	dS m⁻¹	mmol₍₊₎ l⁻¹					mmol₍₋₎ l⁻¹	
	1.023	53.02	458.3	20.1	103.2	10.0	58.4	533.5	55.1
(b)	CE 25°C	Na⁺	Ca²⁺	Mg²⁺	K⁺	SAR	Cl⁻	SO₄²⁻	HCO₃⁻
	dS m⁻¹	mmol₍₊₎ l⁻¹					mmol₍₋₎ l⁻¹		
	Effettivi	448.0	19.4	105.8	13.1	56.6	546.9	53.9	2.7
	Teorici (2)	443.1	19.5	99.8	9.6	57.4	515.8	53.3	
Accuratezza		1.1	-0.5	6.0	35.7	-1.3	6.0	1.2	

2 : I parametri teorici sono calcolati assumendo una relazione linearmente dipendente ai valori di CE a 25 °C con riferimento ai dati in (a).

Tali parametri sono quindi stati utilizzati come riferimento nei confronti delle medesime specie ioniche solubili indagate sui suoli. A tale proposito il campione di acqua di mare è stato progressivamente diluito con acqua deionizzata e su di esso è stata misurata la CE (tabella 5.25). I valori dei parametri analizzati sul campione non diluito sono stati divisi per i rapporti di diluizione, permettendo di calcolare la concentrazione teorica delle specie ioniche ai diversi gradi di diluizione (tabella 5.25). Ciò ha permesso di ottenere delle curve che descrivono l'andamento delle concentrazioni delle diverse specie ioniche, in funzione della CE a 25 °C, in un campione di acqua di mare progressivamente diluito con acqua deionizzata. Si è scelto di riportare le concentrazioni ioniche diluite alle rispettive CE, in quanto la CE è un parametro conservativo che descrive l'effetto complessivo dei sali disciolti in una soluzione. La variazione di concentrazione delle specie ioniche osservata, è assimilabile a quanto ipoteticamente avviene in un ambiente naturale, in cui le modificazioni di concentrazione delle specie solubili in un'acqua di origine marina che attraversa la matrice solida del suolo, siano dovute solamente agli effetti diluenti dell'acqua dolce di falda o di origine meteorica e non da fenomeni di interazione con le specie chimiche della matrice solida stessa.

Tali curve vengono dette di “miscelazione” tra acqua di mare e acqua dolce.

Figura 5.25. Forme ioniche analizzate nel campione di acqua di mare non diluita; CE analizzata e concentrazioni teoriche calcolate nei diversi rapporti di diluizione con acqua deionizzata.

CE a 25°C	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Cl ⁻	Fattore di diluizione
dS·m ⁻¹	mmol ₍₊₎ ·l ⁻¹				mmol ₍₋₎ ·l ⁻¹	
51.26	448.0	19.4	105.8	13.1	546.9	1
40.23	336.0	14.5	79.3	9.8	410.2	1.3333
27.83	224.0	9.7	52.9	6.5	273.5	2
12.15	89.6	3.9	21.2	2.6	109.4	5
6.37	44.8	1.9	10.6	1.3	54.7	10
3.32	22.4	1.0	5.3	0.7	27.3	20
1.37	9.0	0.4	2.1	0.3	10.9	50

Pertanto, la concentrazione di una specie chimica a parità di CE, maggiore di quella descritta dalla rispettiva curva di miscelazione, è riconducibile ad un possibile rilascio di tale specie dalla matrice solida. Al contrario una concentrazione della specie chimica in funzione della CE minore di quella indicata dalla curva di miscelazione, lascia presupporre un ipotetico adsorbimento di tale specie alla matrice del suolo. Quando la specie chimica si presenta, invece a parità di CE, nella medesima concentrazione di quella indicata dalla curva, allora o non vi è interazione con la matrice solida o il risultato dell'interazione non determina spostamenti di equilibrio da indurre modificazioni nella concentrazione della specie chimica stessa. In questo caso la specie chimica ha un comportamento conservativo nel mezzo.

Le tre casistiche possono essere così riassunte:

$([specie]/CE)_{suolo} > ([specie]/CE)_{curva\ miscelazione}$: rilascio specie

$([specie]/CE)_{suolo} < ([specie]/CE)_{curva\ miscelazione}$: adsorbimento specie

$([specie]/CE)_{suolo} \approx ([specie]/CE)_{curva\ miscelazione}$: comportamento conservativo

5.3.6. Comportamento degli ioni solubili sulla CE ps rispetto alla curva di miscelazione acqua di mare – acqua dolce

Le concentrazioni degli ioni solubili più significativi determinati dagli estratti in pasta satura sono stati messi in relazione con la CE ps e visualizzati in grafici assieme alla rispettiva curva di miscelazione acqua di mare – acqua dolce.

Relazione tra CE ps e Ca^{2+} . Nei quattro profili analizzati si osserva che a parità di CE ps, il Ca^{2+} solubile presenta concentrazioni superiori a quelle che proporzionalmente si troverebbero nell'acqua di mare (figura 5.35), ciò indica che prevale il rilascio di Ca^{2+} da parte della matrice solida, di natura prevalentemente calcarea. Le nuvole dei punti nei quattro grafici appaiono pertanto sotto la curva di miscelazione. Nel profilo PZ1 comunque le concentrazioni di Ca^{2+} a parità di CE ps non sono molto superiori a quelle della curva, questo è forse riconducibile al fatto che le basse aliquote di calcare totale ed attivo esercitano un effetto ridotto. Negli altri tre profili, dove le aliquote di carbonati sono maggiori, si osservano dei forti arricchimenti in Ca^{2+} a parità di CE ps, portando le nuvole di punti molto al di sotto della curva di miscelazione, in particolar modo nel PZ4 e nel PZ7.

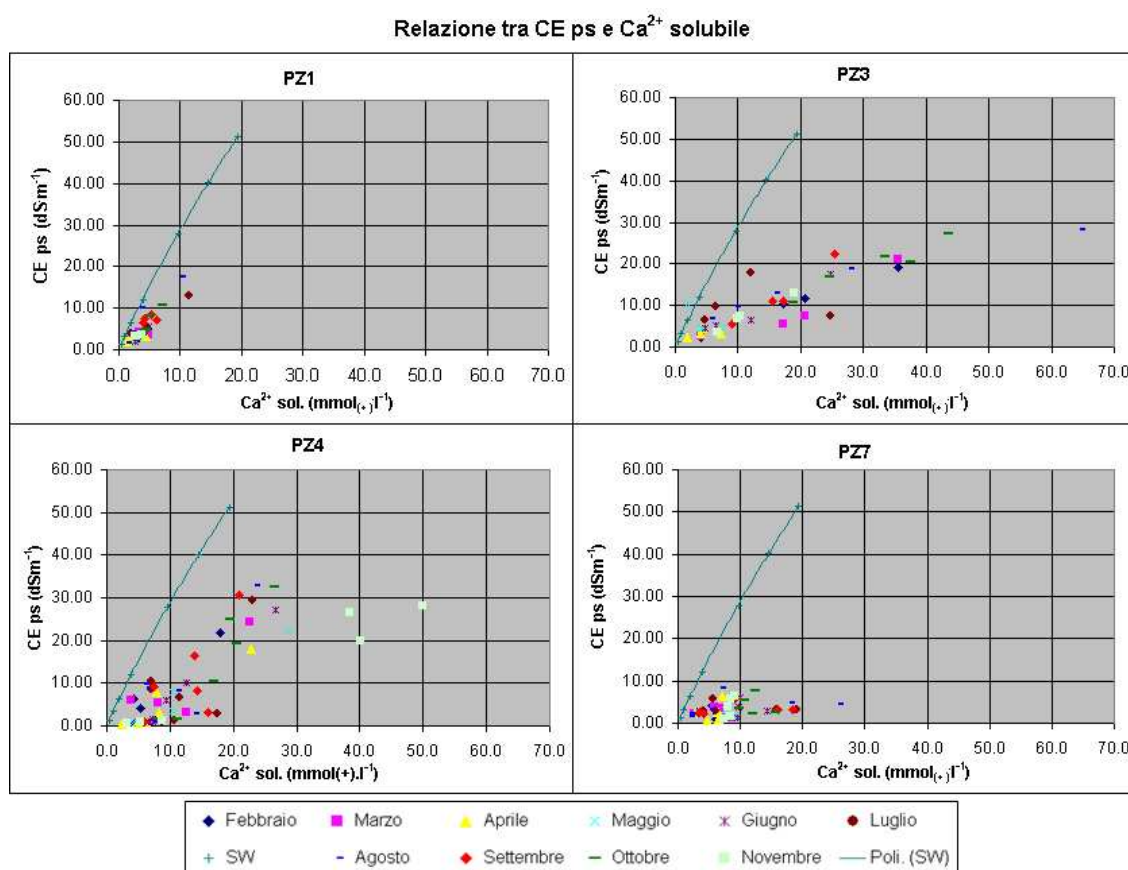


Figura 5.35. Relazione tra CE ps e Ca^{2+} solubile rispetto alla curva di miscelazione acqua di mare-acqua dolce nei quattro profili.

Relazione tra CE ps e Mg^{2+} . Nei quattro profili analizzati si osserva che a parità di CE ps, il Mg^{2+} solubile presenta concentrazioni inferiori a quelle che proporzionalmente si troverebbero nell'acqua di mare (figura 5.36), ciò indica che

un possibile adsorbimento di Mg^{2+} da parte della matrice solida, verosimilmente ad opera del complesso di scambio dei colloidi organici. Le nuvole dei punti nei quattro grafici appaiono pertanto sopra la curva di miscelazione. In particolare si può ipotizzare che nei profili PZ1 e PZ3, che presentano le minori concentrazioni di Mg^{2+} solubile in rapporto alla CE ps, l'adsorbimento sia più accentuato, in virtù della maggiore CSC. Il profilo PZ4 mostra concentrazioni di Mg^{2+} più prossime a quelle della curva di miscelazione in corrispondenza di valori di CE ps più alti (negli orizzonti più prossimi alla falda freatica). Si può quindi supporre che, sebbene nel profilo PZ4 prevalga l'adsorbimento dello ione Mg^{2+} da parte della matrice solida, non si può escludere che l'origine di tale specie sia marina. Il profilo PZ7, infine, presenta rapporti di Mg^{2+} su CE ps talmente bassi da non consentire un'osservazione definita rispetto al campione di acqua di mare.

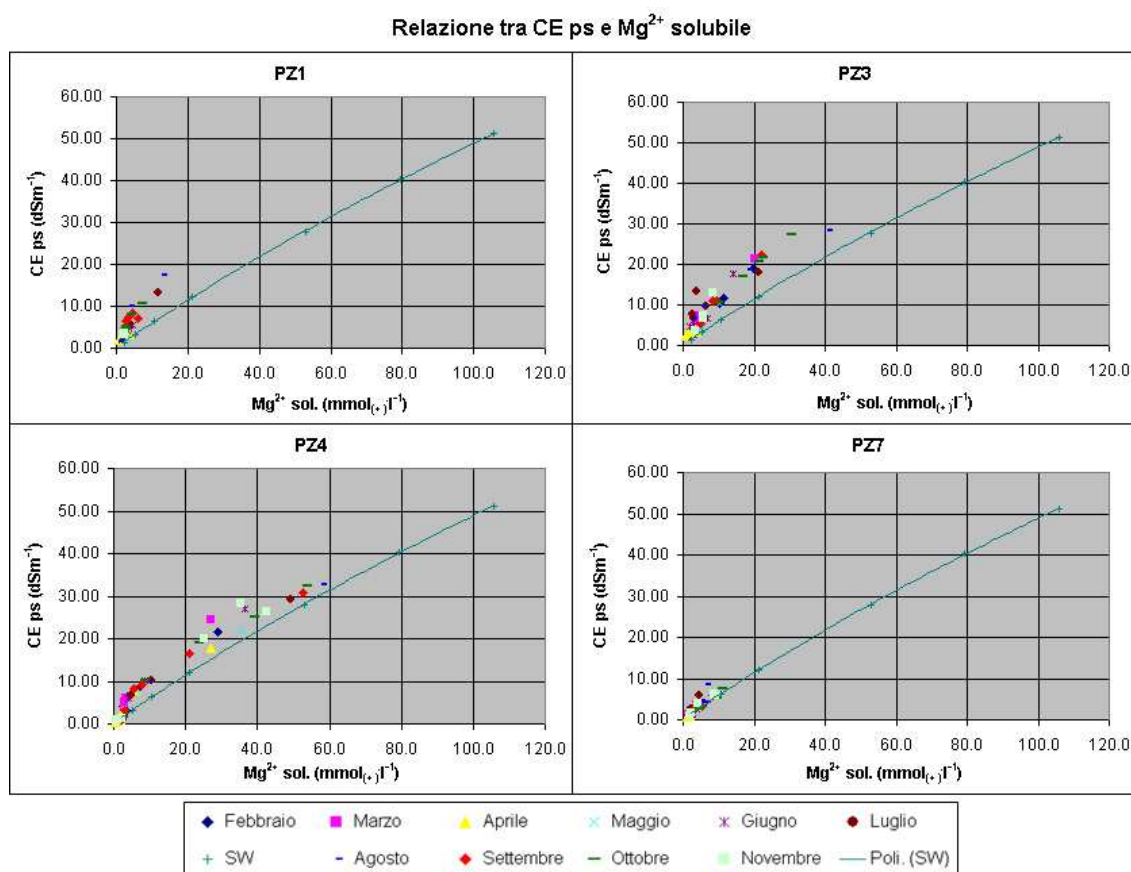


Figura 5.36. Relazione tra CE ps e Mg^{2+} solubile rispetto alla curva di miscelazione acqua di mare-acqua dolce nei quattro profili.

Relazione tra CE ps e K^+ . Lo ione K^+ , rispetto agli altri ioni solubili analizzati nei quattro profili, presenta le concentrazioni più basse. Questo rende difficoltoso comprendere come i rapporti K^+/CE ps nel profilo PZ7 si distribuiscano rispetto alla curva di mescolamento acqua di mare - acqua dolce (figura 5.37). Nel profilo PZ1 si osserva che, a parità di CE_{ps} , il K^+ si presenta in concentrazioni di poco superiori a quello che proporzionalmente si troverebbe nell'acqua di mare. Ciò indica un possibile rilascio di K^+ da parte del complesso di scambio della matrice solida. Nel profilo PZ3, invece, il K^+ è meno concentrato a parità di CE ps rispetto alla curva di miscelazione. È quindi ipotizzabile un possibile adsorbimento netto da parte del complesso di scambio. Il profilo PZ4, infine, presenta rapporti di K^+/CE ps variabili ma sostanzialmente simili a quelli dell'acqua di mare. Si può quindi ipotizzare che in questo profilo la falda freatica, più salina, contribuisca ad apportare ioni K^+ negli orizzonti del profilo.

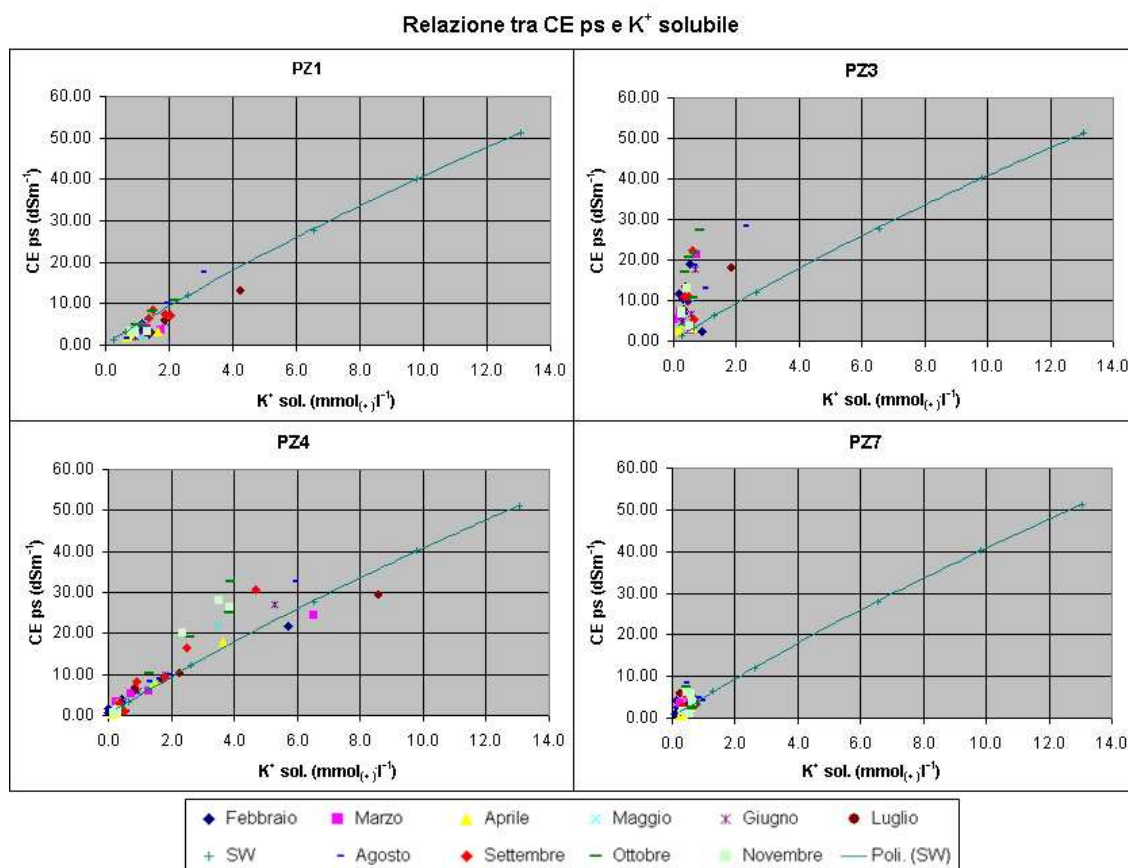


Figura 5.37. Relazione tra CE ps e K^+ solubile rispetto alla curva di miscelazione acqua di mare-acqua dolce nei quattro profili.

Relazione tra CE ps e Na^+ . Osservando i grafici in figura 5.38 si nota che, a parità di CE ps, il Na^+ si presenta in concentrazioni sostanzialmente simili della curva di miscelazione. Ciò indica che non vi sono rilasci o adsorbimenti netti da parte della matrice solida. Il Na^+ può pertanto essere considerato un elemento conservativo perlomeno nei suoli indagati. È verosimile che buona parte del Na sia di origine marina anche se apporti di questo potrebbero forse derivare dalla presenza di plagioclasio sodico (albite) come osservato dalle analisi in diffrattometria RX (sottopar. 5.2.3). I profili PZ3 e PZ4 mostrano, in corrispondenza delle CE ps più alte, una maggiore variabilità nelle concentrazioni di Na^+ e ciò potrebbe forse essere legata alla presenza di tale minerale.

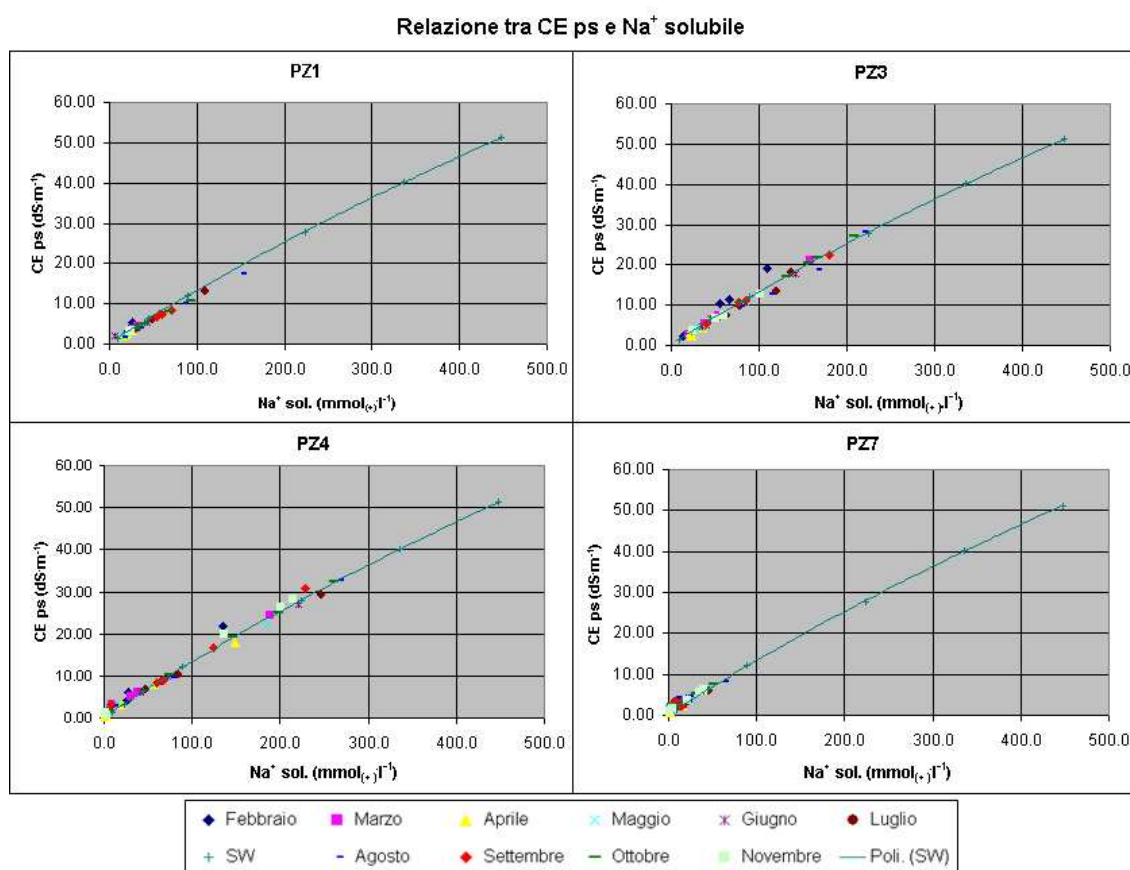


Figura 5.38. Relazione tra CE ps e Na^+ solubile rispetto alla curva di miscelazione acqua di mare-acqua dolce nei quattro profili.

Relazione tra CE ps e Cl^- . I grafici in figura 5.39 evidenziano come la CE ps sia ben correlata con la concentrazione di Cl^- e che, a parità di CE ps, il Cl^- presenti concentrazioni simili a quelle che si troverebbero nel campione di acqua di mare

proporzionalmente diluito. Considerando le aliquote mediamente elevate di Cl^- è verosimilmente possibile che l'origine di questo ione sia prevalentemente marina.

Il cloro si può considerare, al pari del sodio, un elemento conservativo.

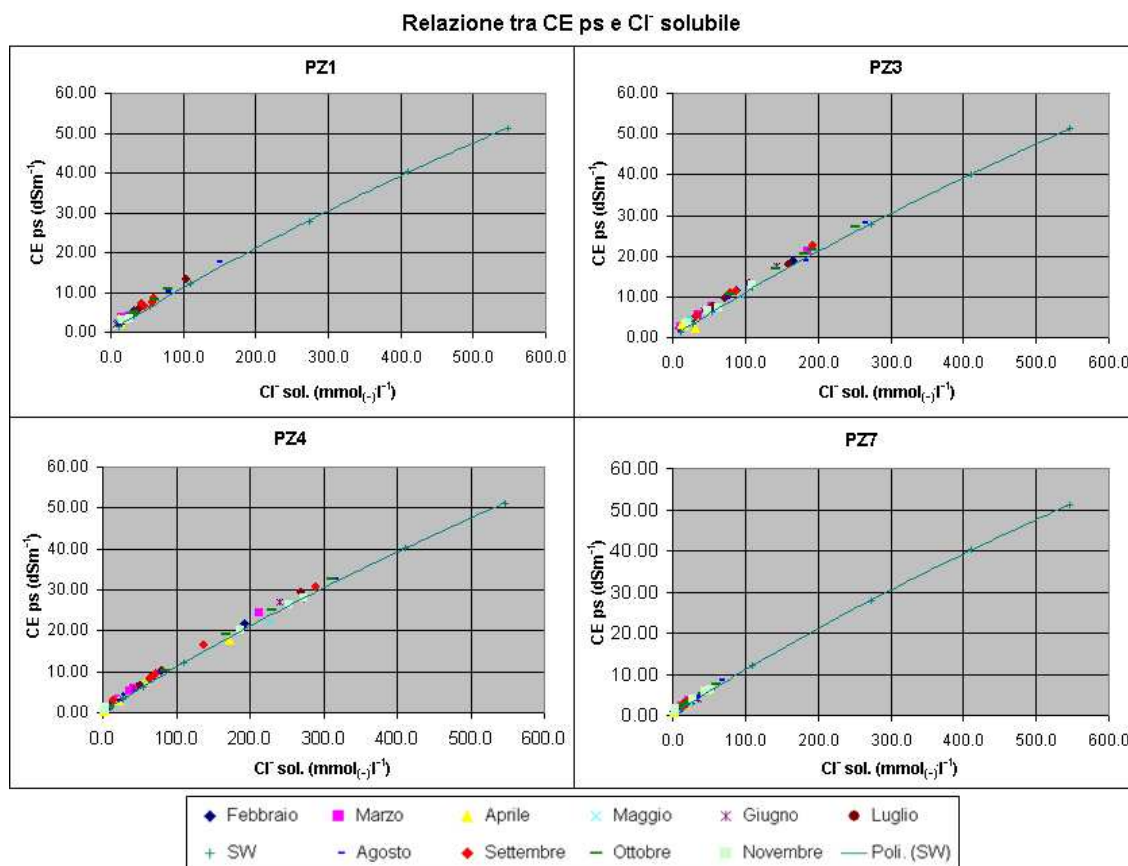


Figura 5.39. Relazione tra CE ps e Cl^- solubile rispetto alla curva di miscelazione acqua di mare-acqua dolce nei quattro profili.

5.3.7. Bilanciamento di carica e calcolo degli indici di saturazione

Bilanciamento delle cariche ioniche.

Una volta analizzate le principali forme ioniche solubili negli estratti in pasta satura e nelle acque di falda dei campioni prelevati durante il monitoraggio, si è ritenuto opportuno effettuare un conteggio del numero totale di cariche ioniche positive e negative per ogni campione analizzato. Come visto per il campione dell'acqua di mare le principali forme cationiche costituenti tali soluzioni sono Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} e K^+ , mentre Cl^- , SO_4^{2-} e HCO_3^- rappresentano le principali forme

anioniche (come visto dai dati riportati in <http://cdiac.esd.ornl.gov/ftp/cdiac74/chapter5.pdf>).

Da queste specie ioniche si formano i sali quantitativamente preponderanti in tale genere di soluzioni. Considerando le altre forme ioniche trascurabili la carica netta risultante tra cationi e anioni in soluzione dovrebbe essere attorno allo zero, dando luogo quindi ad un bilanciamento di carica.

Per i rilievi svolti sui quattro profili e sulle rispettive acque di falda nei mesi di luglio, agosto, settembre e ottobre sono state analizzate tutte le forme ioniche sopra citate ed è pertanto stato possibile calcolare la differenza di carica sia in termini di milliequivalenti/litro che di percentuale come riportato di seguito:

$$\text{differenza} = [\text{cariche positive}] (\text{mmol}_{(+)}\text{l}^{-1}) - [\text{cariche negative}] (\text{mmol}_{(-)}\text{l}^{-1})$$

$$\text{differenza \% sulle cariche positive} = \frac{[\text{cariche positive}] - [\text{cariche negative}]}{[\text{cariche positive}]} \times 100$$

differenza % sulle cariche positive > 0 : cariche positive in eccesso;

differenza % sulle cariche positive < 0 : cariche positive in difetto.

Di seguito sono riportate le tabelle raffiguranti le differenze di carica calcolate nei rilievi dei quattro profili.

Tabella 5.26. Differenza in % sulle cariche positive. Sito PZ1.

Orizz.	Profondità	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07
	cm	%>0: eccesso carica positiva; %<0: difetto carica positiva			
A	0-11.5	2.3	-3.7	3.1	1.1
A/C	11.5-19	3.6	-2.7	7.1	-1.4
Cg ₁	19-24	1.3	-3.3	1.5	3.8
Cg ₂	24-45	2.9	5.8	-2.9	10.4
Sedim	45-54+	6.2	-2.2		3.8
Falda		4.4	0.0	1.5	

Tabella 5.27. Differenza in % sulle cariche positive. Sito PZ3.

Orizz.	Profondità	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07
	cm	%>0: eccesso carica positiva; %<0: difetto carica positiva			
A	0-11.5	0.2	2.3	-2.6	-1.2
A/C	11.5-19	3.2	-2.5	-1.7	-2.5
Cg ₁	19-24	-2.4	3.4	0.5	1.1
Cg ₂	24-45	-4.3	-3.6	-0.3	2.8
Sedim	45-54+	3.2	10.4		-2.1
Falda		5.5	1.2	-4.4	

Tabella 5.28. Differenza in % sulle cariche positive. Sito PZ4.

Orizz.	Profondità	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07
	cm	%>0: eccesso carica positiva; %<0: difetto carica positiva			
A ₁	0-10	9.5	5.0	35.9	10.5
A ₂	10-35	17.1	4.3	12.9	14.5
C ₁	35-73	15.7	11.0	28.5	8.2
C ₂	73-106	2.8	-1.9	5.4	4.6
Cg ₁	106-127	2.1	0.8	0.3	2.1
Cg ₂	127-162	8.3	4.0	1.5	1.5
Sedim	162-170+	6.3	-0.7	-6.5	
Falda		4.6	-0.5	1.1	13.2

Tabella 5.29. Differenza in % sulle cariche positive. Sito PZ7.

Orizz.	Profondità	09/07/07	09/08/07	07/09/07	08/10/07
	cm	%>0: eccesso carica positiva; %<0: difetto carica positiva			
A	0-11	-0.1	1.7	-6.4	-3.7
A/C	11-25	7.5	-0.4	4.2	2.6
C	25-55	0.0	-3.4	6.0	4.1
Cg ₁	55-70	5.6	-5.2	2.6	3.3
Cg ₂	70-91	4.9	4.3	4.9	7.8
Sedim	91-101+	1.0	2.3		
Falda		11.5	0.8	0.3	

Dalle quattro tabelle si osserva che negli estratti in pasta satura considerati si riscontrano in diversa misura o eccessi di carica positiva o eccessi di carica negativa (ovvero difetti di carica positiva) a seconda delle soluzioni. Solamente nell'acqua di falda del rilievo di agosto sul PZ1 (tabella 5.26) sembra aversi un bilanciamento completo delle cariche con una differenza al di sotto del decimo di percentuale. Per il profilo PZ1 la differenza media di carica in % su tutti i campioni è dell'1.9% (dev. standard = 3.9), per il profilo PZ3 è del -0.2% (dev. standard = 3.5), per il profilo PZ4 è del 7.6% (dev. standard = 9.1) e per il profilo PZ7 è del 2.0% (dev. standard = 3.9). Negli orizzonti del PZ4 si osservano le maggiori

differenze di carica, ciò potrebbe essere ricondotto ad un errore nella determinazione analitica, ma va comunque considerato che i campioni in cui si hanno le maggiori differenze in % possiedono valori di concentrazioni assolute di ioni molto basse e pertanto sono comprensibilmente più soggette ad errori di determinazione. A supporto di tale tesi nel grafico di figura 5.40 vengono messe in relazione le differenze di carica ionica riscontrate negli estratti con la loro CE ps. Si osserva infatti che solo i valori con CE ps inferiore 4 – 5 dS/m presentano una differenza di carica superiore al 10%.

Per valori bassi di CE ps si osserva inoltre che lo sbilanciamento di cariche è a favore di quelle positive, ossia i cationi tenderebbero a prevalere. Va tuttavia osservato che la determinazione degli ioni bicarbonato (HCO_3^-), effettuati su estratti in pasta satura, può essere sottostimata in quanto a contatto con l'aria tale forma anionica tende ad andare in equilibrio con la CO_2 disciolta in soluzione la quale a sua volta è in equilibrio con quella atmosferica.

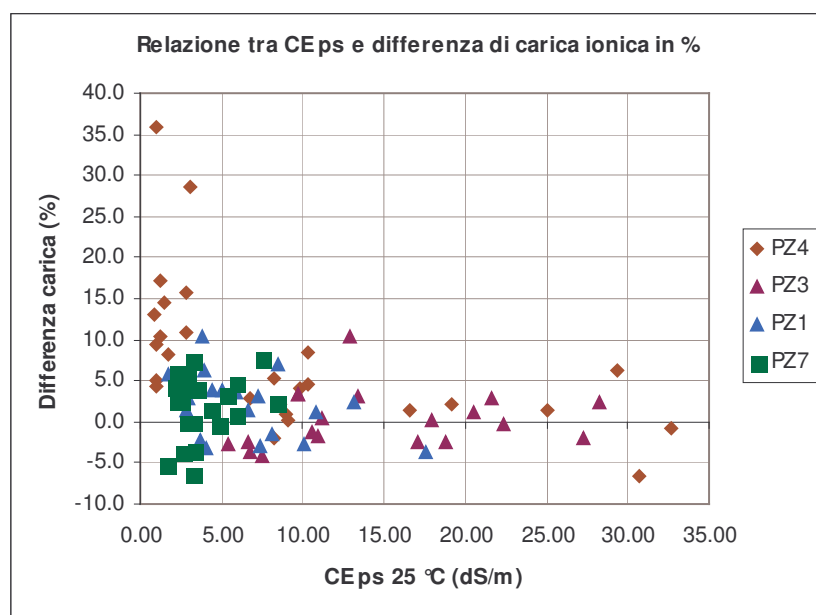


Figura 5.40. Relazione tra differenza di carica ionica delle soluzioni in pasta satura e CE ps nei quattro profili indagati.

Tuttavia, considerando le diverse tecniche analitiche con cui sono state determinate le forme cationiche ed anioniche, soggette ai dovuti margini di errori, le differenze di carica riscontrate possono essere comprensibilmente accettate. Questo in particolare per gli estratti a maggior concentrazione salina.

Calcolo degli indici di saturazione.

Per le specie chimiche degli estratti in pasta satura relativi ai profili PZ1, PZ3 e PZ4 del rilievo di agosto (09/08/07) sono stati calcolati gli indici di saturazione delle specie saline a cui possono prendere parte gli ioni indagati (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-).

Cationi e anioni determinati nelle soluzioni interagiscono chimicamente tra loro formando dei sali. In una soluzione acquosa satura di un sale, l'equilibrio tra il sale AB presente allo stato solido come corpo di fondo e i suoi rispettivi cationi e anioni in soluzione A e B si esprime nella formula:



dove a, b, c sono coefficienti stechiometrici di reazione.

La costante di questo equilibrio eterogeneo viene definita come prodotto di solubilità e indicata con K_{ps} :

$$K_{ps} = [\text{A}]^b \cdot [\text{B}]^c$$

dove [A] e [B] rappresentano le concentrazioni degli ioni all'equilibrio (a saturazione).

Nel caso in cui le concentrazioni ioniche di A e B non siano all'equilibrio si indica:

$$Q = [\text{A}]^b \cdot [\text{B}]^c$$

dove: Q è definito come prodotto ionico.

In tal caso si possono avere tre condizioni:

$Q < K_{ps}$: soluzione sottosatura (il sale AB tende a disciogliersi);

$Q > K_{ps}$: soluzione soprasatura (il sale AB tende a precipitare);

$Q = K_{ps}$: soluzione all'equilibrio. (Atkins, 1992)

L'indice di saturazione si definisce poi come segue:

$$\text{IS (indice di saturazione)} = \log_{10} \left(\frac{Q}{K_{ps}} \right)$$

Pertanto, rispetto ad una determinata soluzione in cui ioni ad una certa concentrazione originano un sale si può dire che:

IS < 0: la soluzione è sottosatura (il sale AB tende a disciogliersi);

IS > 0 : la soluzione è soprassatura (il sale AB tende a precipitare);

IS = 0 : la soluzione è all'equilibrio.

In tabella 5.30 sono mostrate le specie minerali solide che data la presenza delle specie ioniche indagate (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) potrebbero venirsi a formare o essere presenti all'equilibrio se fossero soddisfatte le condizioni del prodotto di solubilità con i rispettivi ioni.

Tabella 5.30. Specie minerali che potenzialmente possono essere in equilibrio con le forme ioniche solubili analizzate nel monitoraggio (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-). Così come restituite da Visual MINTEQ ver. 2.52.

Minerale	Stechiometria				
Anhydrite	1 Ca^{+2}	1 SO_4^{-2}			
Aragonite	1 Ca^{+2}	1 CO_3^{-2}			
Artinite	-2 H^{+1}	2 Mg^{+2}	1 CO_3^{-2}	5 H_2O	
Brucite	1 Mg^{+2}	2 H_2O	-2 H^{+1}		
$\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1 Ca^{+2}	1 CO_3^{-2}	1 H_2O		
Calcite	1 Ca^{+2}	1 CO_3^{-2}			
Dolomite (disordered)	1 Ca^{+2}	1 Mg^{+2}	2 CO_3^{-2}		
Dolomite (ordered)	1 Ca^{+2}	1 Mg^{+2}	2 CO_3^{-2}		
Epsomite	1 Mg^{+2}	1 SO_4^{-2}	7 H_2O		
Gypsum	1 Ca^{+2}	1 SO_4^{-2}	2 H_2O		
Halite	1 Na^{+1}	1 Cl^{-1}			
Huntite	3 Mg^{+2}	1 Ca^{+2}	4 CO_3^{-2}		
Hydromagnesite	5 Mg^{+2}	4 CO_3^{-2}	-2 H^{+1}	6 H_2O	
KCl	1 K^{+1}	1 Cl^{-1}			
Lime	-2 H^{+1}	1 Ca^{+2}	1 H_2O		
Magnesite	1 Mg^{+2}	1 CO_3^{-2}			
$\text{Mg}(\text{OH})_2$ (active)	1 Mg^{+2}	2 H_2O	-2 H^{+1}		
$\text{Mg}_2(\text{OH})_3\text{Cl} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	2 Mg^{+2}	1 Cl^{-1}	-3 H^{+1}	7 H_2O	
$\text{MgCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1 Mg^{+2}	1 CO_3^{-2}	5 H_2O		
Mirabilite	2 Na^{+1}	1 SO_4^{-2}	10 H_2O		
Natron	2 Na^{+1}	1 CO_3^{-2}	10 H_2O		
Nesquehonite	1 Mg^{+2}	1 CO_3^{-2}	3 H_2O		
Periclase	-2 H^{+1}	1 Mg^{+2}	1 H_2O		
Portlandite	1 Ca^{+2}	2 H_2O	-2 H^{+1}		
Thenardite	2 Na^{+1}	1 SO_4^{-2}			
Thermonatrite	2 Na^{+1}	1 CO_3^{-2}	1 H_2O		
Vaterite	1 Ca^{+2}	1 CO_3^{-2}			

Nel nostro caso gli indici di saturazione risultano utili per verificare la possibile presenza in forma precipitata di alcune di queste specie saline, nel caso in cui il

prodotto ionico sia superiore al prodotto di solubilità e perciò $IS > 0$. Dalle concentrazioni ioniche in soluzione delle specie analizzate ci si può ricondurre ad informazioni utili relative alla possibile presenza di sali nella matrice litologica.

Per il calcolo degli indici di saturazione è stato usato il software Visual MINTEQ ver. 2.52.

In tabella 5.31 vengono riportati tutti gli indici di saturazione calcolati rispetto alle soluzioni all'equilibrio istaurabili tra le specie ioniche analizzate ed i possibili sali di formazione.

In grassetto vengono riportati gli $IS > 0$, ovvero quelle condizioni, in cui date le concentrazioni ioniche rilevate, si possono avere precipitazioni di un determinato sale indicato nella colonna più a sinistra. Per i primi orizzonti dei profili PZ1 e PZ3 si osservano $IS > 0$ per aragonite, calcite, dolomite, huntite, magnesite e vaterite, nell'orizzonte A del PZ1 si osserva un $IS > 0$ anche per il gesso e per il carbonato di calcio idrato. Scendendo verso gli orizzonti del substrato permangono in stato di sovrasaturazione le soluzioni formanti aragonite, calcite, dolomite e vaterite, ma negli ultimi due orizzonti scendono anch'esse sotto il limite di saturazione ($IS < 0$).

Nel profilo PZ4 si osservano negli orizzonti minerali $IS > 0$ sostanzialmente solo per aragonite, calcite, dolomite e vaterite. Stati di lieve sovrasaturazione permangono anche nel primo orizzonte minerale (C1), ma al di sotto di questo anche questi sali tendono a disciogliersi totalmente.

Si osserva complessivamente che l'equilibrio di saturazione viene essenzialmente raggiunto o superato dagli ioni formanti sali di carbonato di calcio e di magnesio. Con la sola eccezione del gesso in un unico orizzonte.

Inoltre, specialmente per dolomite, calcite e aragonite gli IS dove positivi sono maggiori nei profili PZ1 e PZ3 rispetto al PZ4. Relativamente ai due tipi di dolomite si osservano diversi valori di IS superiori a 2, questo significa che il prodotto ionico Q è superiore di oltre 100 volte il K_{ps} . La presenza di soluzioni sovrasature per questi tipi di sali è probabilmente legata al marcato aumento degli ioni HCO_3^- dalla profondità alla superficie, come si osserva dalle tabelle del monitoraggio 5.22i, 5.21i, 5.20i e 5.19i. Gli ioni bicarbonato tendono a legarsi a Ca^{2+} e Mg^{2+} , formando sali assai meno solubili rispetto a quelli di Na. Questi ultimi infatti presentano degli IS molto inferiori a 0. Anche Na e Cl, elementi chiave nella

causa della salinità lungo questi profili, sono in concentrazioni molto al di sotto della saturazione per dar luogo a precipitati di NaCl sottoforma di alite. Anche negli orizzonti più profondi del PZ4 il prodotto ionico resta quasi 1000 volte inferiore al K_{ps} dell'NaCl.

Tabella 5.31. Indici di saturazione calcolati rispetto alle soluzioni all'equilibrio istaurabili con le specie ioniche analizzate di Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} e HCO_3^-

Minerale		Profili																
		PZ1					PZ3					PZ4						
		Orizzonti					Orizzonti					Orizzonti						
		A	A/C	Cg1	Cg2	Sedim.	A	A/C	Cg1	Cg2	Sedim.	A1	A2	C1	C2	Cg1	Cg2	Sedim.
Anhydrite	Indici di saturazione	-1.28	-1.79	-1.92	-2.11	-2.07	-0.22	-0.62	-1.13	-1.38	-0.90	-1.99	-1.95	-1.40	-1.17	-1.37	-1.43	-0.70
Aragonite		0.99	0.47	0.03	-0.53	-0.27	1.31	0.95	0.66	-0.16	-0.21	0.35	0.67	0.27	-0.27	-0.65	-0.62	-0.60
Artinite		-4.19	-5.05	-6.33	-7.65	-6.52	-4.02	-4.36	-4.85	-7.14	-6.86	-6.57	-6.15	-6.70	-7.17	-7.37	-6.74	-5.97
Brucite		-4.45	-4.70	-5.33	-6.00	-5.22	-4.28	-4.29	-4.41	-5.81	-5.50	-5.57	-5.42	-5.58	-5.81	-5.95	-5.48	-4.90
$\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$		-0.20	-0.72	-1.16	-1.72	-1.46	0.12	-0.24	-0.53	-1.36	-1.40	-0.84	-0.53	-0.92	-1.46	-1.84	-1.81	-1.79
Calcite		1.14	0.61	0.17	-0.38	-0.12	1.45	1.10	0.80	-0.02	-0.07	0.49	0.81	0.42	-0.13	-0.51	-0.47	-0.46
Dolomite (disordered)		1.96	0.83	-0.27	-1.47	-0.87	2.27	1.59	0.92	-0.79	-0.87	0.05	0.64	-0.15	-0.93	-1.37	-1.17	-0.96
Dolomite (ordered)		2.51	1.38	0.28	-0.92	-0.32	2.82	2.14	1.47	-0.24	-0.32	0.60	1.19	0.40	-0.38	-0.82	-0.62	-0.41
Epsomite		-3.40	-4.01	-4.35	-4.62	-4.51	-2.67	-3.04	-3.63	-3.95	-3.45	-4.74	-4.74	-4.20	-3.66	-3.54	-3.46	-2.56
Gypsum		-1.03	-1.54	-1.67	-1.86	-1.82	0.03	-0.37	-0.88	-1.13	-0.65	-1.74	-1.70	-1.15	-0.92	-1.12	-1.18	-0.45
Halite		-3.47	-3.95	-4.72	-5.49	-4.81	-3.11	-3.36	-4.01	-4.30	-3.74	-6.77	-7.19	-5.33	-4.19	-4.09	-3.99	-2.97
Huntite		0.91	-1.44	-3.83	-6.34	-5.05	1.22	-0.12	-1.54	-5.03	-5.16	-3.52	-2.38	-3.97	-5.23	-5.78	-5.25	-4.67
Hydromagnesite		-7.53	-10.22	-13.45	-16.72	-14.57	-7.38	-8.71	-10.32	-15.28	-15.08	-13.70	-12.46	-14.21	-15.39	-15.77	-14.64	-13.30
KCl		-4.52	-4.95	-5.59	-6.27	-5.62	-4.45	-5.14	-5.65	-5.93	-5.17	-6.84	-7.07	-6.13	-5.21	-5.08	-4.95	-3.98
Lime		-20.15	-20.32	-20.74	-21.32	-20.61	-19.67	-19.70	-19.74	-21.08	-20.78	-20.66	-20.47	-20.61	-21.16	-21.62	-21.28	-20.87
Magnesite		0.22	-0.39	-1.04	-1.69	-1.35	0.22	-0.11	-0.49	-1.37	-1.40	-1.04	-0.77	-1.17	-1.40	-1.46	-1.30	-1.11
$\text{Mg}(\text{OH})_2$ (active)		-6.14	-6.39	-7.02	-7.70	-6.91	-5.98	-5.99	-6.10	-7.51	-7.19	-7.26	-7.12	-7.27	-7.50	-7.64	-7.17	-6.60
$\text{Mg}_2(\text{OH})_3\text{Cl} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$		-9.39	-10.23	-11.75	-13.33	-11.60	-8.71	-9.01	-9.76	-12.12	-11.20	-12.83	-12.94	-12.00	-11.86	-12.00	-11.20	-9.51
$\text{MgCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$		-2.70	-3.31	-3.96	-4.61	-4.27	-2.70	-3.03	-3.41	-4.29	-4.32	-3.96	-3.69	-4.09	-4.32	-4.38	-4.22	-4.03
Mirabilite		-3.53	-4.15	-4.89	-5.56	-5.19	-2.93	-3.22	-3.97	-4.35	-3.63	-7.94	-8.12	-6.18	-4.36	-4.17	-4.09	-2.81
Natron		-5.04	-5.67	-6.71	-7.76	-7.16	-5.18	-5.43	-5.96	-6.91	-6.73	-9.38	-9.28	-8.29	-7.24	-7.23	-7.06	-6.49
Nesquehonite		-2.57	-3.18	-3.83	-4.48	-4.14	-2.57	-2.90	-3.28	-4.16	-4.19	-3.83	-3.56	-3.96	-4.19	-4.25	-4.09	-3.90
Periclase		-8.93	-9.18	-9.81	-10.49	-9.70	-8.77	-8.78	-8.89	-10.30	-9.98	-10.05	-9.91	-10.06	-10.29	-10.44	-9.96	-9.39
Portlandite		-10.16	-10.32	-10.74	-11.32	-10.62	-9.67	-9.71	-9.74	-11.08	-10.79	-10.66	-10.47	-10.62	-11.16	-11.62	-11.28	-10.88
Thenardite		-4.96	-5.59	-6.32	-6.99	-6.62	-4.36	-4.66	-5.41	-5.79	-5.07	-9.38	-9.55	-7.62	-5.80	-5.61	-5.52	-4.24
Thermonatrite		-6.99	-7.62	-8.66	-9.71	-9.11	-7.13	-7.38	-7.91	-8.86	-8.67	-11.33	-11.23	-10.24	-9.19	-9.18	-9.01	-8.44
Vaterite		0.57	0.05	-0.39	-0.95	-0.69	0.89	0.53	0.24	-0.59	-0.63	-0.08	0.24	-0.15	-0.70	-1.07	-1.04	-1.02
Forza ionica		0.1895	0.1008	0.0439	0.0207	0.0365	0.3412	0.2315	0.1037	0.0715	0.1426	0.0142	0.016	0.0365	0.0862	0.0924	0.1026	0.3578
pH		7.7	7.8	7.7	7.5	7.7	7.6	7.8	7.9	7.3	7.3	7.4	7.5	7.3	7.2	7.1	7.2	7.2

La presenza di $IS > 0$ per alcune forme di sali carbonatici non necessariamente implicano la presenza di tali formazioni, soprattutto nel primo orizzonte dove è stata constatata l'assenza di calcare totale, calcite e dolomite. Ca e Mg potrebbero ad esempio derivare dalle ingenti aliquote presenti sul complesso di scambio.

5.4. CONSIDERAZIONI SULLA CLASSIFICAZIONE DEI SUOLI

L'indagine di monitoraggio ha portato alla individuazione di profili che sono stati classificati in maniera nuova rispetto a quanto riportato in bibliografia (RER, 1999).

La designazione delle tipologie di suolo presenti all'interno della Pineta di San Vitale cioè, Cerba, Pirottolo e San Vitale, adottata dalla RER (1999), evidenzia alcune differenze rispetto alla classificazione dei suoli emersa nell'ambito del presente lavoro. La tabella 5.32. riporta un quadro della situazione emersa.

Tabella 5.32. Confronto tra la classificazione dei suoli della Pineta di San Vitale realizzata dalla RER (SSS, 2003; FAO, 1998) (sfondo giallo) e quella realizzata in seguito dell'indagine di monitoraggio (SSS, 2006; IUSS, 2006).

	Soil Taxonomy	World Reference Base	
	Mixed mesic, Aquic Ustipsamments	Gleyic Arenosols (calcaric)	CERBA
PZ7	Mixed calcareous, mesic, Aquic Ustipsamments	Endogleyic Arenosols (calcaric, hyposalic)	
	Mixed, mesic, Typic Psammaquents	Gleyic Arenosols (calcaric)	PIROTTOLO
PZ1	Mixed, mesic, Sodic Psammaquents	Haplic Gleysols (calcaric, sodic, arenic)	
PZ3	Mixed calcareous, mesic, Sodic Psammaquents	Haplic Gleysols (calcaric, sodic, arenic)	
	Mixed calcareous, mesic, Typic Ustipsamments	Aridi Calcaric Arenosols	SAN VITALE
PZ4	Mixed calcareous, mesic, Typic Ustipsamments	Haplic Arenosols (calcaric, hyposalic)	

Il monitoraggio ha permesso di verificare alcune caratteristiche diagnostiche, indispensabili per l'attribuzione di un qualificatore a livello di sottogruppo (SSS, 2006) o di gruppo di riferimento (IUSS, 2006). È questo il caso dei profili PZ1 e PZ3 in cui il monitoraggio ha evidenziato un $SAR > 13$ per più di 6 mesi in uno o

più orizzonti entro il metro di profondità ed ha consentito l'attribuzione al sottogruppo *sodic* (SSS, 2006). Al riguardo del sistema WRB (IUSS, 2006), il monitoraggio ha portato ad ipotizzare il gruppo (Soil Reference Group) dei *gleysols*, il più verosimile sempre per i profili PZ1 e PZ3, sulla base di colore (Gleyic color pattern) e condizioni riducenti (figure 5.9 e 5.10), verificate in base alla misura dell'rH (WRB, 1998). Inoltre, anche i qualificatori sono stati arricchiti con *calcaric*, *sodic*, *arenic*, *hyposalic*.

La classificazione, secondo la WRB, dei suoli descritti nel sito PZ7 qualifica come *endogleyic* (IUSS, 2006) o *gleyic* (WRB, 1998) i suoli riconducibili al pedotipo Cerba. Ciò indica la presenza di proprietà gleyiche tra i 50 e i 100 cm di profondità. Si può ipotizzare che tali proprietà si possano osservare anche a profondità minori, nel caso in cui il livello di falda raggiungesse con maggiore frequenza durante l'anno la quota misurata nei rilievi di aprile e novembre. In effetti, osservando le fluttuazioni della profondità di falda del piezometro PZ7 in figura 5.2, si nota come questa a fine 2004 e nell'autunno 2005 sia risultata più volte a profondità inferiori a 50 cm dal p.c.. In questo caso il profilo PZ7 assumerebbe i caratteri distintivi dei suoli di tipo Pirottolo (falda entro i 50 cm, maggiore saturazione idrica degli orizzonti, condizioni asfittiche e riducenti e riduzione dell'attività della biomassa microbica).

I suoli San Vitale invece, non presentano differenze significative tra la classificazione della RER e quella realizzata a seguito del monitoraggio. Tuttavia si nota come i rilievi di aprile, novembre e dicembre mostrino un livello di falda di 100 cm o poco più dal p.c.. Osservando le fluttuazioni della profondità di falda del piezometro PZ4 (figura 5.2), si osserva come questa in diversi mesi (dicembre 2004, aprile, ottobre, dicembre 2005) abbia raggiunto profondità inferiori a 100 cm dal p.d.c.. Se queste condizioni si presentassero con maggiore frequenza durante l'anno e fossero accompagnate da condizioni riducenti degli orizzonti a contatto con la falda, il profilo PZ4 presenterebbe i caratteri tipici dei suoli Cerba.

5.5. CORRELAZIONI TRA CE SUOLI E SALI SOLUBILI

Per ogni profilo sono state calcolate le medie, le mediane e le deviazioni standard dei parametri monitorati da febbraio a novembre complessivamente su tutti gli orizzonti.

Inoltre, sempre per ogni profilo, sono riportate due matrici di correlazione: nella prima vengono riportati i coefficienti di correlazione di Pearson tra a CE ps, SAR, pH e l'intera gamma delle principali specie ioniche che sono state monitorate solamente da luglio ad ottobre. Nella seconda invece sono riportati i coefficienti di correlazione tra CE ps, SAR e le specie ioniche monitorate da febbraio a novembre.

Le correlazioni evidenziate nella seconda matrice sono da ritenersi più attendibili e rappresentative di quelle della prima, in quanto calcolate su un maggior numero di osservazioni.

La trattazione statistica di questi dati risulta interessante al fine di osservare in che misura le relazioni osservate possono dirsi in accordo con quanto riportato in bibliografia da lavori simili (Guang-Ming, 2006), prendendo come indicazione utile quanto riportato nel quaderno FAO n. 57 (Rhoades et *al.*, 1999) secondo cui la composizione ionica e la salinità totale sono i principali fattori relazionabili alla CE.

Come osservato da Guang-Ming (2006) lo ione maggiormente correlato con la CE risulta essere il Cl^- ($R = 0.997$). Seguendo le indicazioni di tale lavoro si è cercato di creare un'equazione di regressione lineare in più variabili che potesse esprimere la CE ps partendo dalla conoscenza degli altri parametri monitorati.

Data la CE ps come variabile dipendente o di risposta, sono state scelte, come indicato da Guang-Ming (2006), lo ione Cl^- ed il SAR come variabili indipendenti o predittori.

Il calcolo dell'equazione di regressione lineare è stato eseguito mediante l'ausilio del software di statistica: MATLAB versione 6.0 Release 12.

Si riportano ora le trattazioni statistiche per i singoli profili.

Profilo PZ1. In tabella 5.33 si osserva come la mediana sui valori della CE ps sia un poco inferiore alla media, ovvero che più della metà dei valori osservati nel monitoraggio siano posti al di sotto del valore medio. La deviazione standard, vista

l'elevata variabilità dei valori ottenuti (tabella 5.19), è inevitabilmente abbastanza alta. Queste caratteristiche si osservano in diversa misura anche per gli altri parametri monitorati. Vi è tuttavia l'eccezione dello ione SO_4^{2-} , dove la mediana è leggermente superiore alla media e il pH che presenta una deviazione standard molto più bassa, indice che quest'ultimo parametro è scarsamente in relazione con gli altri considerati.

Tabella 5.33. Medie, mediane e deviazioni standard relative ai parametri monitorati, calcolate per il profilo PZ1.

	CE ps	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SAR	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	pH
	dS·m ⁻¹	mmol ₍₊₎ ·l ⁻¹					mmol ₍₋₎ ·l ⁻¹			
Media	4.83	3.8	3.1	1.4	37.8	19.7	31.9	7.2	9.1	7.8
Mediana	3.78	3.4	2.5	1.2	27.2	16.2	25.9	7.4	6.2	7.7
Dev. st.	3.19	2.0	2.5	0.6	28.1	8.6	27.6	3.0	6.1	0.3
Dev. st. %	66	81	91	76	68	38	78	44	64	4

Nelle due matrici di correlazione (tabella 5.34 e 5.35) si osserva che le migliori correlazioni che la CE ps presenta sono con il Cl⁻, il Na⁺ e il Mg²⁺, ma buone sono anche tutte quelle con gli altri parametri ad eccezione del pH. I cationi ed il Cl⁻ presentano tutti correlazioni buone e molto buone, sia nel periodo più breve di monitoraggio (tabella 5.34) che nel periodo più lungo (tabella 5.35).

Tabella 5.34. Matrice di correlazione dei parametri monitorati da luglio a ottobre nel profilo PZ1.

	CE ps	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SAR	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	pH
CE ps	1.000									
Ca²⁺	0.877	1.000								
Mg²⁺	0.931	0.968	1.000							
K⁺	0.837	0.912	0.924	1.000						
Na⁺	0.998	0.870	0.930	0.831	1.000					
SAR	0.878	0.568	0.658	0.598	0.880	1.000				
Cl⁻	0.994	0.856	0.923	0.833	0.993	0.876	1.000			
SO₄²⁻	0.835	0.871	0.862	0.744	0.835	0.583	0.821	1.000		
HCO₃⁻	0.845	0.824	0.870	0.776	0.857	0.684	0.804	0.741	1.000	
pH	0.299	0.358	0.256	0.202	0.283	0.239	0.241	0.205	0.402	1.000

Un pò meno forti appaiono le correlazioni che solfati e bicarbonati presentano con gli altri parametri, in particolar modo col SAR. Nessuna correlazione è osservabile tra pH e gli altri parametri considerati.

Tabella 5.35. Matrice di correlazione dei parametri monitorati da febbraio a novembre nel profilo PZ1.

	CE ps	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SAR	Cl ⁻
CE ps	1.000						
Ca ²⁺	0.868	1.000					
Mg ²⁺	0.910	0.966	1.000				
K ⁺	0.820	0.903	0.924	1.000			
Na ⁺	0.992	0.846	0.899	0.818	1.000		
SAR	0.879	0.577	0.641	0.605	0.904	1.000	
Cl ⁻	0.992	0.834	0.884	0.791	0.987	0.889	1.000

Sulla base dei dati ottenuti si sono calcolate le seguenti equazioni di regressione lineare (1 e 2) per stimare la CE ps a partire da Cl⁻ e da Cl⁻ e SAR.

$$\text{CE ps} = 0.1146 \text{ Cl}^- + 1.1733 \quad (R^2 = 0.9839) \quad (1)$$

$$\text{CE ps} = 0.1159 \text{ Cl}^- - 0.0048 \text{ SAR} + 1.2259 \quad (R^2 = 0.9839) \quad (2)$$

Dalle equazioni riportate si osserva che la variabile SAR non porta ad un aumento del coefficiente di determinazione, pertanto non ha nessun peso sulla variabile dipendente CE ps.

Profilo PZ3. In tabella 5.36 si osserva come la mediana sui valori della CE ps sia di poco inferiore alla media, significa quindi che poco più della metà dei valori osservati nel monitoraggio sono posti al di sotto del valore medio. La deviazione standard, vista l'elevata variabilità dei valori ottenuti (tabella 5.20), è inevitabilmente abbastanza alta. Similmente al PZ1, queste caratteristiche si osservano in diversa misura anche per gli altri parametri monitorati. Il pH a differenza degli altri parametri, presenta anche qui una deviazione standard molto più bassa.

Tabella 5.36. Medie, mediane e deviazioni standard relative ai parametri monitorati, calcolate per il profilo PZ3.

	CE ps	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SAR	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	pH
	dS·m ⁻¹	mmol ₍₊₎ ·l ⁻¹					mmol ₍₋₎ ·l ⁻¹			
Media	10.70	16.5	9.6	0.5	81.5	22.6	86.3	21.5	6.7	7.7
Mediana	9.65	10.3	5.7	0.5	63.1	21.2	72.2	18.7	5.6	7.7
Dev. st.	7.04	13.4	8.8	0.4	55.3	8.7	67.5	9.5	4.3	0.3
Dev. st. %	66	81	91	76	68	38	78	44	64	4

Nelle due matrici di correlazione (tabella 5.37 e 5.38) si osserva che le migliori correlazioni che la CE ps presenta sono con il Cl⁻, l'Na⁺, l'SO₄²⁻, l'Mg²⁺ e il Ca²⁺. K⁺ e SAR hanno invece correlazioni deboli con la CE ps.. I cationi ed il Cl⁻ presentano correlazioni buone e molto buone fra di loro, sia nel periodo più breve di monitoraggio (tabella 5.37) che nel periodo più lungo (tabella 5.38). Fa eccezione tuttavia il K⁺, che presenta salamente correlazioni discrete con Ca²⁺ e Mg²⁺. Nel periodo più breve il SAR non presenta correlazioni apprezzabili con nessuno dei parametri, mentre nel periodo lungo si osservano discrete correlazioni con CE ps e Na⁺. I solfati sono poi in correlazione molto buona con diversi parametri eccetto SAR e K⁺.

Nessuna correlazione significativa è osservabile per l'HCO₃⁻ e il pH nei confronti l'uno dell'altro e degli altri parametri considerati.

Tabella 5.37. Matrice di correlazione dei parametri monitorati da luglio a ottobre nel profilo PZ3.

	CE ps	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SAR	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	pH
CE ps	1.000									
Ca²⁺	0.913	1.000								
Mg²⁺	0.955	0.980	1.000							
K⁺	0.559	0.770	0.695	1.000						
Na⁺	0.991	0.875	0.923	0.535	1.000					
SAR	0.457	0.142	0.209	-0.030	0.546	1.000				
Cl⁻	0.997	0.918	0.958	0.569	0.991	0.453	1.000			
SO₄²⁻	0.971	0.910	0.949	0.602	0.969	0.429	0.972	1.000		
HCO₃⁻	-0.130	0.192	0.099	0.475	-0.172	-0.580	-0.116	-0.052	1.000	
pH	-0.205	-0.079	-0.112	-0.180	-0.240	-0.363	-0.190	-0.150	0.302	1.000

Tabella 5.38. Matrice di correlazione dei parametri monitorati da febbraio a novembre nel profilo PZ3.

	CE ps	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SAR	Cl ⁻
CE ps	1.000						
Ca ²⁺	0.931	1.000					
Mg ²⁺	0.946	0.984	1.000				
K ⁺	0.555	0.710	0.680	1.000			
Na ⁺	0.985	0.891	0.912	0.560	1.000		
SAR	0.721	0.478	0.497	0.221	0.794	1.000	
Cl ⁻	0.995	0.935	0.951	0.565	0.986	0.719	1.000

Sulla base dei dati ottenuti si sono calcolate le seguenti equazioni di regressione lineare (3 e 4) per stimare la CE ps a partire da Cl⁻ e da Cl⁻ e SAR.

$$\text{CE ps} = 0.1038 \text{ Cl}^- + 1.7408 \quad (R^2 = 0.9902) \quad (3)$$

$$\text{CE ps} = 0.1029 \text{ Cl}^- + 0.0093 \text{ SAR} + 1.6023 \quad (R^2 = 0.9903) \quad (4)$$

Dalle equazioni riportate si osserva che la variabile SAR non porta sostanzialmente ad un aumento del coefficiente di determinazione, pertanto non ha peso sulla variabile dipendente CE ps.

Profilo PZ4. In tabella 5.39 si osserva come la mediana sui valori della CE ps sia un poco inferiore alla media. La deviazione standard, vista l'elevata variabilità dei valori ottenuti (tabella 5.21), è inevitabilmente molto alta. Queste caratteristiche si osservano in diversa misura anche per gli altri parametri monitorati, e in alcuni (Mg²⁺ e K⁺) la differenza tra media e mediana è sensibilmente più marcata. Il pH a differenza degli altri parametri, presenta anche qui una deviazione standard molto più bassa.

Nelle due matrici di correlazione (tabella 5.40 e 5.41) si osserva la CE ps presentare le migliori correlazioni con il Cl⁻, l'Na⁺, l'SO₄²⁻, l'Mg²⁺ e il SAR. Buona correlazione anche col Ca²⁺, mentre discreta ma inversa la correlazione con l'HCO₃⁻. Il Ca²⁺, il K⁺ e il SAR hanno invece correlazioni deboli con la CE ps. I cationi ed il Cl⁻ presentano correlazioni buone e molto buone fra di loro, sia nel periodo più breve di monitoraggio (tabella 5.37) che nel periodo più lungo (tabella 5.38). Fa eccezione tuttavia il K⁺, che presenta solamente correlazioni discrete con

Ca^{2+} e Mg^{2+} . Nel periodo più breve il SAR non presenta correlazioni apprezzabili con nessuno dei parametri, mentre nel periodo lungo si osservano discrete correlazioni con CE ps e Na^+ .

Tabella 5.39. Medie, mediane e deviazioni standard relative ai parametri monitorati, calcolate per il profilo PZ4.

	CE ps	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	SAR	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	pH
	dS m^{-1}	$\text{mmol}_{(+)}\text{l}^{-1}$					$\text{mmol}_{(-)}\text{l}^{-1}$			
Media	10.30	14.4	14.0	1.7	76.3	16.7	89.1	11.6	4.2	7.5
Mediana	7.88	10.8	5.7	0.9	53.1	18.5	59.0	10.1	2.8	7.5
Dev. st.	10.61	10.3	17.3	1.9	87.0	14.8	103.6	12.5	3.0	0.4
Dev. st. %	103	71	124	107	114	89	116	109	72	5

I solfati sono poi in correlazione molto buona con diversi parametri eccetto SAR e K^+ . Delle basi il Ca^{2+} è quello che presenta correlazioni meno forti con gli altri parametri, ma comunque abbastanza buone con quelli monitorati nel periodo più lungo (tabella 5.41). Rispetto ai PZ1 e PZ3 il SAR risulta maggiormente correlato specialmente con CE ps e Na^+ .

L' HCO_3^- presenta tutte correlazioni inverse alcune delle quali significative, questo a conferma di quanto osservabile in tabella 5.21, in cui spesso si osserva aumentare verso la superficie dove gli altri ioni diminuiscono. Anche il pH dell'estratto in pasta satura (non riconducibile a quello del suolo, ma solamente riferibile al pH dell'estratto stesso) tende a manifestare la stessa tendenza ma con correlazioni molto deboli.

I parametri del profilo PZ4 sono quelli che complessivamente presentano maggior numero di correlazioni fra di loro, molti di essi infatti seguono gradienti simili lungo il profilo, meglio distinguibili e più costanti durante l'anno rispetto agli altri profili (tabella 5.21).

Tabella 5.40. Matrice di correlazione dei parametri monitorati da luglio a ottobre nel profilo PZ4.

	CE ps	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SAR	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	pH
CE ps	1.000									
Ca ²⁺	0.802	1.000								
Mg ²⁺	0.979	0.815	1.000							
K ⁺	0.912	0.687	0.912	1.000						
Na ⁺	0.998	0.784	0.977	0.926	1.000					
SAR	0.921	0.599	0.833	0.847	0.928	1.000				
Cl ⁻	0.999	0.807	0.987	0.910	0.997	0.905	1.000			
SO ₄ ²⁻	0.992	0.761	0.968	0.931	0.994	0.934	0.990	1.000		
HCO ₃ ⁻	-0.675	-0.382	-0.564	-0.592	-0.676	-0.804	-0.657	-0.692	1.000	
pH	-0.459	-0.188	-0.415	-0.571	-0.481	-0.566	-0.450	-0.509	0.632	1.000

Tabella 5.41. Matrice di correlazione dei parametri monitorati da febbraio a novembre nel profilo PZ4.

	CE ps	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SAR	Cl ⁻
CE ps	1.000						
Ca ²⁺	0.810	1.000					
Mg ²⁺	0.973	0.781	1.000				
K ⁺	0.926	0.672	0.902	1.000			
Na ⁺	0.996	0.793	0.975	0.927	1.000		
SAR	0.935	0.658	0.855	0.881	0.938	1.000	
Cl ⁻	0.998	0.824	0.982	0.915	0.995	0.917	1.000

Sulla base dei dati ottenuti si sono calcolate le seguenti equazioni di regressione lineare (5 e 6) per stimare la CE ps a partire da Cl⁻ e da Cl⁻ e SAR.

$$CE\ ps = 0.1034\ Cl^- + 1.047 \quad (R^2 = 0.9951) \quad (5)$$

$$CE\ ps = 0.0913\ Cl^- + 0.089\ SAR + 0.6635 \quad (R^2 = 0.9977) \quad (6)$$

Dalle equazioni riportate si osserva che la CE ps è stimabile in modo molto soddisfacente con l'utilizzo della singola variabile indipendente Cl⁻, restituendo un coefficiente di determinazione molto buono. Tuttavia la variabile SAR esercita anch'essa una certa influenza su CE ps, visibile dall'ulteriore aumento dell'R². I dati del profilo PZ4 sono quelli per i quali si riesce a trovare la miglior regressione lineare per stimare la CE ps.

Profilo PZ7. In tabella 5.42 si osserva come la mediana sui valori della CE ps sia di poco inferiore alla media. La deviazione standard, pur elevata, indica una variabilità dei dati (tabella 5.22) comunque più contenuta rispetto perlomeno al PZ4. Similmente agli altri profili, queste caratteristiche si osservano in diversa misura anche per gli altri parametri monitorati. Anche qui il pH, a differenza degli altri parametri, presenta una deviazione standard in percentuale molto più bassa.

Tabella 5.42. Medie, mediane e deviazioni standard relative ai parametri monitorati, calcolate per il profilo PZ7.

	CE ps	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SAR	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	pH
	dS·m ⁻¹	mmol ₍₊₎ ·l ⁻¹					mmol ₍₋₎ ·l ⁻¹			
Media	3.41	9.0	4.5	0.5	18.6	7.5	23.5	4.7	4.2	7.8
Mediana	3.09	8.1	3.9	0.5	15.5	8.1	19.3	4.8	3.9	7.9
Dev. st.	1.81	5.2	2.5	0.2	14.7	5.4	16.0	2.2	1.6	0.5
Dev. st. %	53	58	55	35	79	72	68	46	39	6

Nelle tabelle 5.42 e 5.43 si osserva come le correlazioni tra i diversi parametri siano inferiori e più deboli rispetto agli altri profili, questo perché i parametri seguono trend lungo il profilo dissimili tra di loro (tabella 5.22) e imputabili a fattori di causa complessi e difficili da definire in tale sede.

Tabella 5.42. Matrice di correlazione dei parametri monitorati da luglio a ottobre nel profilo PZ7.

	CE ps	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SAR	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	pH
CE ps	1.000									
Ca²⁺	0.173	1.000								
Mg²⁺	0.814	0.412	1.000							
K⁺	0.021	0.890	0.237	1.000						
Na⁺	0.902	-0.261	0.590	-0.360	1.000					
SAR	0.688	-0.549	0.269	-0.612	0.922	1.000				
Cl⁻	0.996	0.120	0.806	-0.042	0.922	0.723	1.000			
SO₄²⁻	0.845	0.442	0.681	0.371	0.655	0.419	0.813	1.000		
HCO₃⁻	-0.466	0.604	-0.189	0.640	-0.713	-0.787	-0.508	-0.144	1.000	
pH	-0.302	0.308	0.059	0.469	-0.455	-0.617	-0.335	-0.221	0.451	1.000

La CE ps appare molto ben correlata solamente con Cl⁻ e Na⁺, secondariamente con il SAR e l'Mg²⁺. Dei cationi solamente Ca²⁺ e K⁺ presentano buona

correlazione. Mentre il SAR è correlato molto bene con l' Na^+ . Vi sono comunque al pari degli altri profili le correlazioni molto buone tra Cl^- ed Na^+ . I bicarbonati presentano alcune correlazioni positive e negative che evidenziano una tendenza di comportamento come quella mostrata nel PZ4 anche se meno marcata.

Nel PZ7 quindi, vengono ad instaurarsi dinamiche complesse che rendono più deboli le relazioni tra i parametri considerati, anche se, il permanere delle correlazioni tra CE ps, Cl^- e Na^+ riconduce comunque la soluzione circolante del suolo ad un ambiente marino costiero.

Tabella 5.43. Matrice di correlazione dei parametri monitorati da febbraio a novembre nel profilo PZ7.

	CE ps	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	SAR	Cl^-
CE ps	1.000						
Ca^{2+}	0.240	1.000					
Mg^{2+}	0.894	0.388	1.000				
K^+	0.244	0.728	0.343	1.000			
Na^+	0.940	-0.074	0.764	0.045	1.000		
SAR	0.801	-0.318	0.544	-0.128	0.940	1.000	
Cl^-	0.993	0.205	0.888	0.234	0.947	0.818	1.000

Sulla base dei dati ottenuti si sono calcolate le seguenti equazioni di regressione lineare (7 e 8) per stimare la CE ps a partire da Cl^- e da Cl^- e SAR.

$$\text{CE ps} = 0.1124 \text{Cl}^- + 0.7683 \quad (\text{R}^2 = 0.9864) \quad (7)$$

$$\text{CE ps} = 0.1154 \text{Cl}^- - 0.0108 \text{SAR} + 0.7797 \quad (\text{R}^2 = 0.9867) \quad (8)$$

Dalle equazioni riportate si osserva che la variabile SAR ha peso ridotto sulla variabile dipendente CE ps. La sua considerazione come variabile predittrice infatti, porta ad un aumento del coefficiente di determinazione assai modesto.

5.6. CORRELAZIONI TRA CE SUOLI E PRINCIPALI PARAMETRI AMBIENTALI

Terminato il monitoraggio si è cercato di focalizzare l'attenzione sulle possibili relazioni esistenti tra la CE ps riscontrata alle diverse profondità del suolo

ed i diversi parametri ambientali monitorati mensilmente assieme ad essa nell'arco dell'intero periodo.

È stata scelta la CE ps come parametro di studio da mettere in relazione ai parametri ambientali monitorati in quanto, come già detto, tale proprietà meglio descrive l'effetto complessivo dei sali nel suolo e, in tale ambito di studio, rappresenta uno dei principali parametri atti a descrivere la qualità del suolo, soprattutto in relazione agli effetti sulla vegetazione.

Sulla base dei dati ottenuti l'obiettivo è stato quello di trovare una relazione che possa stimare la CE ps di un dato orizzonte nel profilo, ossia una proprietà del suolo determinabile solo in laboratorio, a partire dalla conoscenza di alcuni parametri ambientali, esterni o interni al suolo, ma comunque di più facile monitorabilità in tale contesto.

Per determinare questa possibile relazione si è proceduto cercando di mettere a punto un modello, in parte su base statistica ed in parte su base empirica, dove la CE ps è stata assunta come variabile dipendente (o variabile risposta) ed i parametri ambientali considerati come variabili predittrici.

Per fare questo in un primo momento sono state determinate, considerando i dati ottenuti dai monitoraggi dei singoli profili, delle equazioni di regressione lineare che potessero determinare la relazione esistente tra la variabile risposta e le variabili predittrici relative ai singoli profili.

Successivamente, combinando assieme i valori di queste equazioni ed abbinando ad essi una serie di appositi coefficienti determinati in modo empirico, è stato costruito un modello onde poter estrapolare i valori di CE ps lungo il profilo per tutte le possibili situazioni presenti nelle pinete.

Per ogni CE ps determinata ad un dato orizzonte diagnostico del profilo definita come: **CE ps_{or}**, i parametri ambientali monitorati o calcolati a seguito del monitoraggio sono stati i seguenti:

DistF: distanza media dalla falda dell'orizzonte nel profilo (cm);

CE: conduttività elettrica a 25 °C della falda freatica (dS/m);

P: precipitazioni intercorse nella mensilità precedente al rilievo (mm);

T: temperatura media della mensilità precedente al rilievo (°C);

DistS: distanza media dalla superficie del piano di campagna dell'orizzonte nel profilo (cm).

Le relazioni esistenti tra CE_{ps} ed i parametri ambientali sono state per quanto possibile linearizzate per poter essere esprimibili mediante un'equazione di regressione lineare multivariata.

Tali funzioni sono state determinate per i profili PZ1, PZ4 e PZ7, mentre per il profilo PZ3, vista la complessità degli andamenti della CE_{ps}, ciò non è stato possibile e si è proceduto per via empirica, mediante una media pesata dei risultati ottenuti dalle equazioni di regressione lineare dei profili PZ1 e PZ4. Lo stesso metodo seguito poi nell'elaborazione del modello empirico per generalizzare tutte le possibili situazioni riscontrabili nell'ambito di studio dei suoli delle pinete come sopra citato.

5.6.1. Elaborazione di equazioni di regressione lineare

Le equazioni di regressione lineare calcolate per esprimere la CE_{ps} in funzione dei cinque parametri ambientali sopra riportati sono state tre, ognuna rispettivamente ottenuta dai dati dei profili PZ1, PZ4 e PZ7.

Il calcolo delle equazioni è stato svolto mediante l'utilizzo di una funzione implementata con MATLAB ver. 6.0 Release 12.

Le linearizzazioni delle relazioni esistenti tra i cinque parametri (DistF, CE, P, T, DistS) e la variabile risposta CE_{psor} sono state molteplici e diverse a seconda dei tre profili.

Gli stessi dati della CE_{ps} utilizzati per stimare la variabile risposta sono stati immessi in forma logaritmica naturale onde evitare che l'equazione di regressione lineare restituisse possibili valori di CE_{psor} negativi.

Il set di dati utilizzati per l'elaborazione delle funzioni di regressione lineare sulle quali si è poi costruito il modello empirico, sono relativi ai primi nove mesi di rilevamento (febbraio – ottobre), mentre i dati dei mesi successivi (da novembre a dicembre per il PZ1 e PZ7 e sino a gennaio per il PZ4) sono serviti come confronto per la validazione del modello.

Vengono di seguito descritti i principali risultati ottenuti sulle elaborazioni svolte nei diversi profili.

Profilo PZ1. I dati di CE ps del profilo PZ1 presentano un gradiente sostanzialmente non molto definito nei mesi non estivi, ma i cui valori si attestano per lo più a leggermente alti. I valori maggiori, che generano le principali criticità, si osservano invece in estate negli orizzonti superficiali, in relazione a temperature elevate e a precipitazioni ridotte.

In virtù di ciò si è visto che i dati della variabile risposta tendono ad approssimare meglio i dati di CE ps reali se i valori dei cinque parametri ambientali vengono immessi come variabili predittive all'interno della funzione di regressione nel seguente modo:

DistF come $(\text{DistF})^2$

CE come tal quale

P come $(\log_4 P)^{-1}$

T come $(\log_4 T)^{-1}$

DistS come tal quale

In tal modo l'equazione di regressione lineare (9) che si è ottenuta per il PZ1 è la seguente:

$$\text{Ln}(\text{Ceps}_{\text{or}}) = 0.7831 + 0.0007 (\text{DistF})^2 + 0.1136 \text{ CE} - 1.4979 (\log_4 P)^{-1} + 0.9797 (\log_4 T)^{-1} + 0.0055 \text{ DistS} \quad (9)$$

Avente $R^2 = 0.7380$

In figura 5.41 si osserva che la distribuzione dei residui rispetto alla variabile risposta è abbastanza dispersa, segno che non vi sono significative correlazioni tra le variabili predittive, anche se questi presentano una curva di distribuzione un poco asimmetrica rispetto alla normalità. Il coefficiente di determinazione è comunque abbastanza buono.

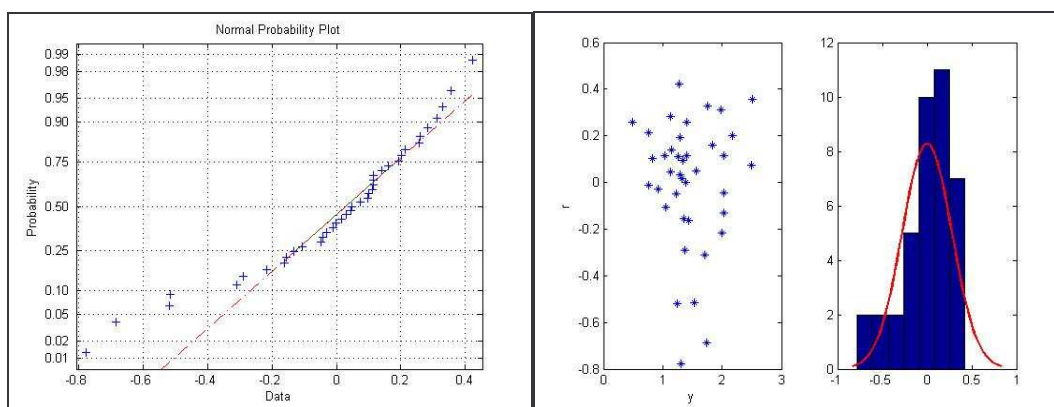


Figura 5.41. Normal Probability Plot (sinistra) e distribuzione dei residui rispetto alla variabile risposta (destra).

Nel grafico di figura 5.42 sono confrontati gli andamenti della variabile risposta CE ps_{or} con gli andamenti reali di CE ps osservati dal periodo febbraio – ottobre e utilizzati per l’elaborazione dell’equazione di regressione (9). Nello stesso grafico si osservano poi i dati reali di CE ps di novembre e dicembre, messi a confronto con quelli stimati dalla variabile risposta.

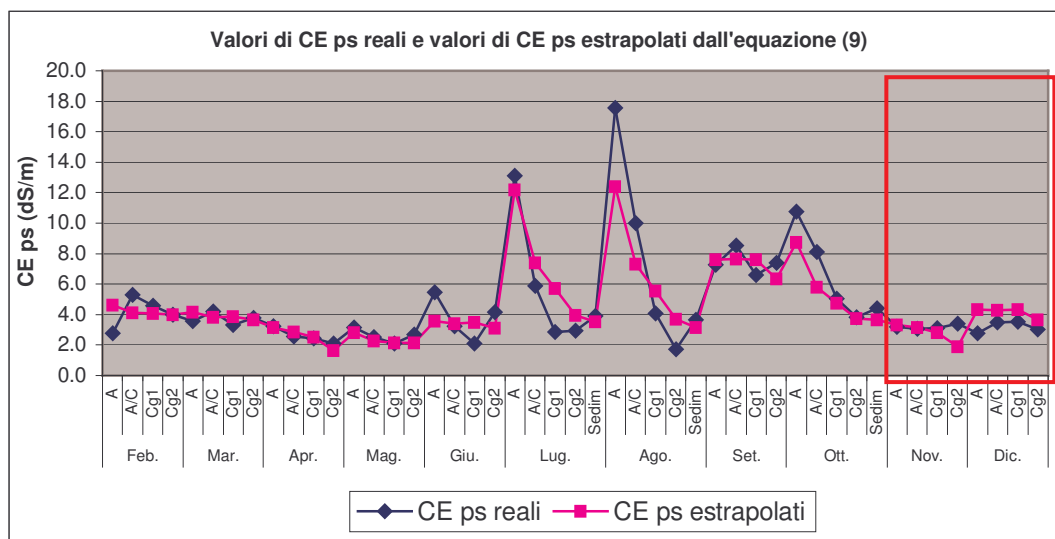


Figura 5.42. Valori della CE ps reale confrontati con i valori di CE ps estrapolati dall’equazione di regressione (9). I valori di novembre e dicembre non sono stati utilizzati per il calcolo dell’equazione per essere utilizzati come confronto.

I valori estrapolati riescono a stimare abbastanza bene gli aumenti superficiali di luglio, agosto e ottobre. La stima dei valori più bassi è più incerta, ma ai fini

dello studio questi sono meno importanti in quanto non determinano problemi alla vegetazione.

Profilo PZ4. I dati di CE ps del profilo PZ4 presentano un gradiente di aumento dall'alto verso il basso sostanzialmente ben definito in tutti i mesi monitorati.

In virtù di ciò per approssimare i dati della variabile risposta a quelli della CE ps reale non è stato necessario linearizzare gli andamenti dei parametri ambientali. Questi a differenza di quelli del PZ1 sono stati immessi come variabili predittive nella funzione elaborata da MATLAB, con i loro valori tal quali.

In tal modo l'equazione di regressione lineare (10) che si è ottenuta per il PZ4 è la seguente:

$$\text{Ln}(\text{Ceps}_{\text{or}}) = -2.2668 - 0.0028 \text{ DistF} + 0.0953 \text{ CE} + 0.0027 \text{ P} - 0.0107 \text{ T} + 0.0202 \text{ DistS} \quad (10)$$

$$\text{Avente } R^2 = 0.9079$$

In figura 5.43 si osserva che la distribuzione dei residui rispetto alla variabile risposta è ben dispersa, segno che non vi sono correlazioni tra le variabili predittrici. La curva di distribuzione è un poco asimmetrica rispetto alla normalità, ma il coefficiente di determinazione è decisamente molto buono.

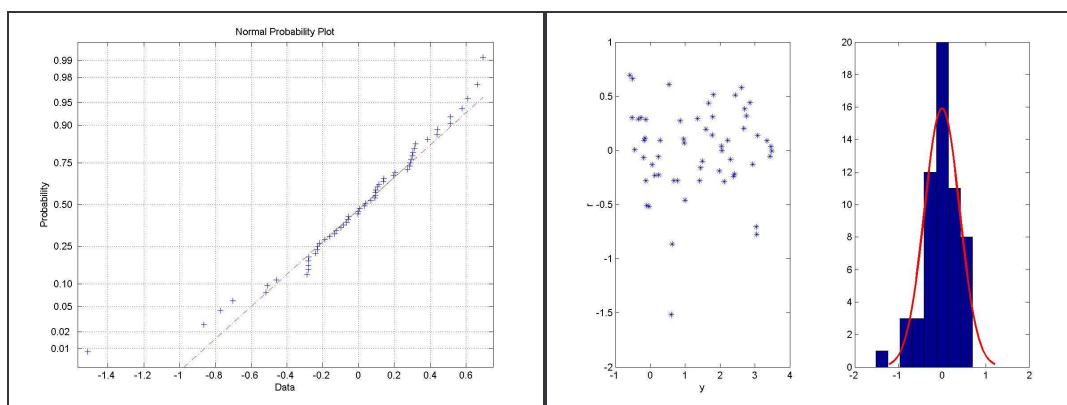


Figura 5.43. Normal Probability Plot (sinistra) e distribuzione dei residui rispetto alla variabile risposta (destra).

Nel grafico di figura 5.44 sono confrontati gli andamenti della variabile risposta CE ps_{or} con gli andamenti reali di CE ps osservati dal periodo febbraio –

ottobre e utilizzati per l'elaborazione dell'equazione di regressione (9). Nello stesso grafico si osservano i dati reali di CE ps di novembre, dicembre e gennaio, messi a confronto con quelli stimati dalla variabile risposta.

I valori estrapolati riescono a stimare abbastanza bene gli aumenti in profondità. La stima dei valori più bassi è più incerta, ma ai fini dello studio questi sono meno importanti in quanto non determinano problemi alla vegetazione.

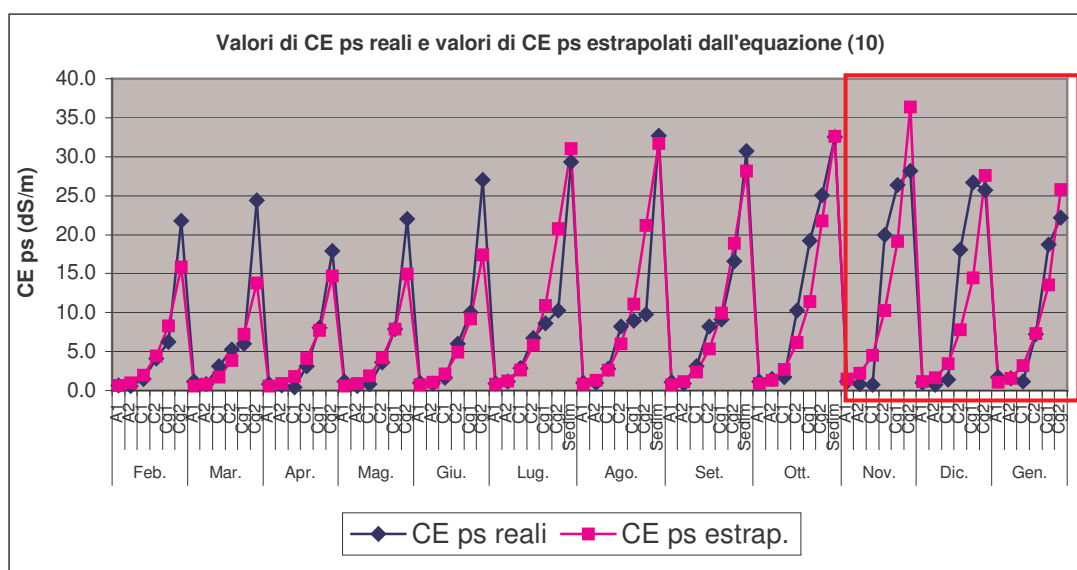


Figura 5.44. Valori della CE ps reale confrontati con i valori di CE ps estrapolati dall'equazione di regressione (9). I valori di novembre e dicembre non sono stati utilizzati per il calcolo dell'equazione per essere utilizzati come confronto.

Profilo PZ7. I dati di CE ps del profilo PZ7 presentano un gradiente molto variabile, e solo per alcuni mesi è riconoscibile un aumento abbastanza lineare con la profondità, inoltre in questo profilo non vi sono aumenti repentini di valori riconducibili chiaramente ad un certo parametro ambientale, come l'elevata temperatura estiva per il PZ1 e l'elevata CE della falda per il PZ4.

Si è visto che per meglio approssimare i dati della variabile risposta a quelli della CE ps reale i diversi tentativi di linearizzare gli andamenti dei parametri ambientali non si sono rivelati soddisfacenti. Pertanto i dati dei parametri ambientali sono stati immessi, come variabili predittive nella funzione elaborata da MATLAB, con i loro valori tal quali.

In tal modo l'equazione di regressione lineare (11) che si è ottenuta per il PZ7 è la seguente:

$$\text{Ln}(\text{Ceps}_{\text{or}}) = 0.5743 - 0.009 \text{ DistF} + 0.0077 \text{ CE} - 0.0029 \text{ P} + 0.0409 \text{ T} + 0.0015 \text{ DistS} \quad (11)$$

$$\text{Avente } R^2 = 0.4875$$

Benché il coefficiente di determinazione sia basso, in figura 5.45 si osserva che la distribuzione dei residui rispetto alla variabile risposta è ben dispersa, segno che comunque non vi sono correlazioni tra le variabili predittrici. La curva di distribuzione risulta un poco asimmetrica rispetto alla normalità.

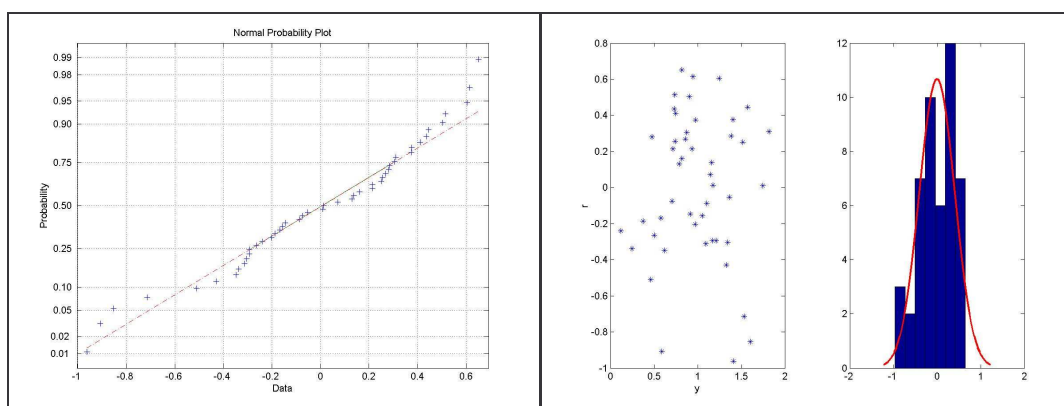


Figura 5.45. Normal Probability Plot (sinistra) e distribuzione dei residui rispetto alla variabile risposta (destra).

Nel grafico di figura 5.46 sono confrontati gli andamenti della variabile risposta CE ps_{or} con gli andamenti reali di CE ps osservati dal periodo febbraio – ottobre e utilizzati per l'elaborazione dell'equazione di regressione (11). Nello stesso grafico si osservano i dati reali di CE ps di novembre e dicembre, messi a confronto con quelli stimati dalla variabile risposta.

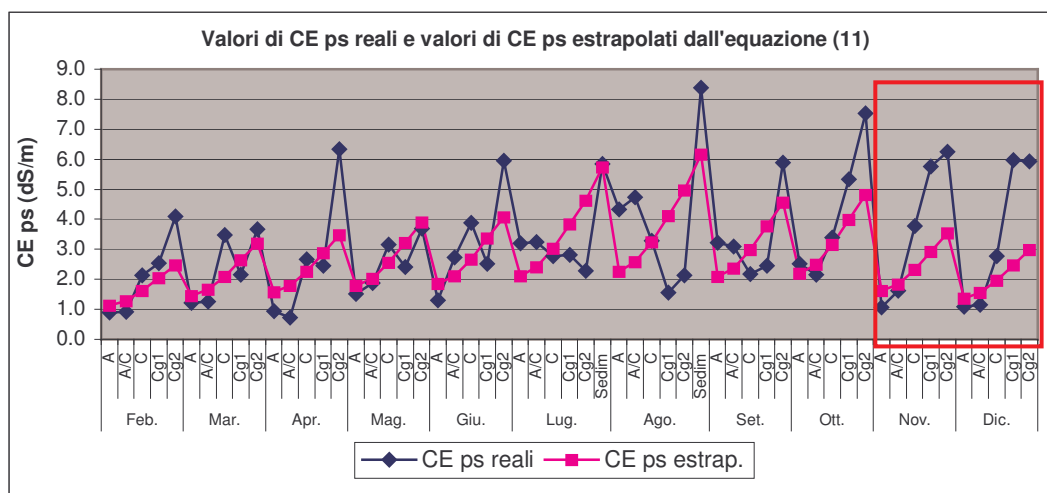


Figura 5.46. Valori della CE ps reale confrontati con i valori di CE ps estrapolati dall'equazione di regressione (11). I valori di novembre e dicembre non sono stati utilizzati per il calcolo dell'equazione per essere utilizzati come confronto.

I valori estrapolati riescono a stimare discretamente gli aumenti in profondità, ma non stimano gli aumenti negli orizzonti superficiali del mese di agosto ed allo stesso modo dall'equazione (11) non sono viste le variazioni repentine di trend che sovente si notano lungo tale profilo. Tali variazioni sono peraltro difficilmente prevedibili da un modello di regressione lineare.

5.6.2. Elaborazione di un modello su base statistica ed empirica per estrapolare la CE dei suoli

Le tre equazioni di regressione lineare (calcolate per i profili PZ1, PZ4 e PZ7) che descrivono il variare della CE ps lungo il profilo in funzione delle cinque variabili predittrici considerate, sono poi state utilizzate per la creazione di un modello empirico. Tale modello ha permesso di poter estrapolare i valori di CE ps lungo il profilo per tutte le possibili situazioni presenti nelle pinete.

Il modello è stato messo a punto mediante un comune foglio elettronico di Microsoft Excel e la sua struttura viene schematizzata nelle figure 5.47 e 5.48.

I dati da inserire nel modello sono:

- profondità di falda (il valore è espresso in cm dal p.c. e deve essere negativo);
- CE di falda a 25°C (dS/m);
- la temperatura media T (°C) della mensilità antecedente la data di monitoraggio del valore di profondità e CE relativi alla falda;
- le precipitazioni (mm) della mensilità antecedente la data di monitoraggio del valore di profondità e CE relativi alla falda.

Dai valori di profondità di falda vengono calcolate le variabili DistF e DistS (sottopar. 5.6.1) che sono poi inserite nelle equazioni di regressione lineare (9), (10) e (11).

I parametri di profondità e CE di falda inseriti vengono inviati ad otto casistiche possibili a seguito delle quali, per mezzo di una serie di equazioni logiche di esclusione, viene selezionata solamente una di queste otto possibilità.

Nel modello tutte le otto casistiche vengono calcolate, ma solamente i valori di una di esse sono restituiti dal modello in quanto la casistica nella quale rientrano i parametri inseriti moltiplica per “1” i valori ottenuti dal calcolo delle equazioni, mentre le altre sette moltiplicano per “0” i valori.

Delle otto casistiche ve ne sono sei che rimandano al calcolo della CE ps_{or} mediante l'utilizzo di una sola equazione di regressione (figura 5.47). Per tre di queste casistiche il valore ottenuto dall'equazione (equazione 10 in questo caso) viene moltiplicato per un coefficiente “C” (figura 5.47) diverso sia per il tipo di profilo (PZ1 e PZ4), sia per la profondità di falda immessa. Relativamente alle equazioni di calcolo da abbinare a tale coefficiente viene espresso come segue:

$$C(PZ4) = -144/\text{profondità di falda}$$

$$C(PZ1) = -28/\text{profondità di falda}$$

dove: -144 e -28 rappresentano i valori medi di profondità di falda, rispettivamente per i profili PZ1 e PZ4, sulle quali sono state elaborate le equazione di regressione lineare (9) e (10). Sostanzialmente tale coefficiente serve per normalizzare l'andamento del trend di CE ps_{or} indicato dalle equazioni di regressione (9) e (10) per valori di profondità di falda e di distanza dalla superficie del p.c. che siano superiori o inferiori a quelli mediamente utilizzati per ottenere le

equazioni di regressione stesse. I coefficienti “C” vanno a moltiplicare all’interno delle equazioni le variabili DistF e DistS.

I valori di CE ps_{or} ottenuti sono poi sottoposti alla condizione in base alla quale se l’orizzonte dove vuol essere determinata la CE ps è inferiore alla profondità di falda, assume direttamente il valore della CE di falda immerso.

Le due casistiche indicate in figura 5.48 prevedono invece l’utilizzo dei risultati di due equazioni di regressione, l’equazione (9) e (10).

In entrambi i valori delle equazioni (9) e (10) sono moltiplicate per il coefficiente “C”, dopodiché i risultati vengono moltiplicati per il peso “P” (ossia l’importanza) che il modello attribuisce ai valori delle singole equazioni all’interno della casistica considerata. Il calcolo dei pesi relativi alle equazioni di regressione dei profili PZ1 e PZ4 è indicato in figura 7.48 (in basso a sinistra). Il peso attribuito vuole dare importanza all’aumento di CE ps che si ha negli orizzonti superficiali dei suoli con falda vicino al p.c. durante la stagione estiva. Per tale motivo questo risulta essere in funzione della variazione di CE ps durante l’anno nel primo orizzonte superficiale, che, generalmente, diminuisce nei suoli aventi profondità di falda via via superiore.

Pertanto:

$CE_{max} = CE\ ps\ massima\ raggiunta\ durante\ l'anno\ nel\ primo\ orizzonte\ sup.;$

$CE_{min} = CE\ ps\ minima\ raggiunta\ durante\ l'anno\ nel\ primo\ orizzonte\ sup.;$

-150 = profondità di falda massima entro la quale il peso dell’equazione (9) è nullo;

CE_{max} e CE_{min} sono i valori osservati dai quattro profili monitorati.

La funzione che descrive l’andamento del Peso dell’equazione (9) del PZ1 è approssimabile ad una funzione esponenziale.

Occorre precisare l’andamento di tale funzione riduce notevolmente il peso dell’equazione (9) per suoli con profondità di falda crescente, questo porta ad una sottostima degli aumenti di CE ps in superficie, ma l’utilizzo di una funzione lineare è stato notato che esagera molto i valori di CE ps in certe condizioni estive.

I valori dell’equazione (9) sono poi moltiplicati per un fattore dato dal rapporto di temperatura T e precipitazioni P.

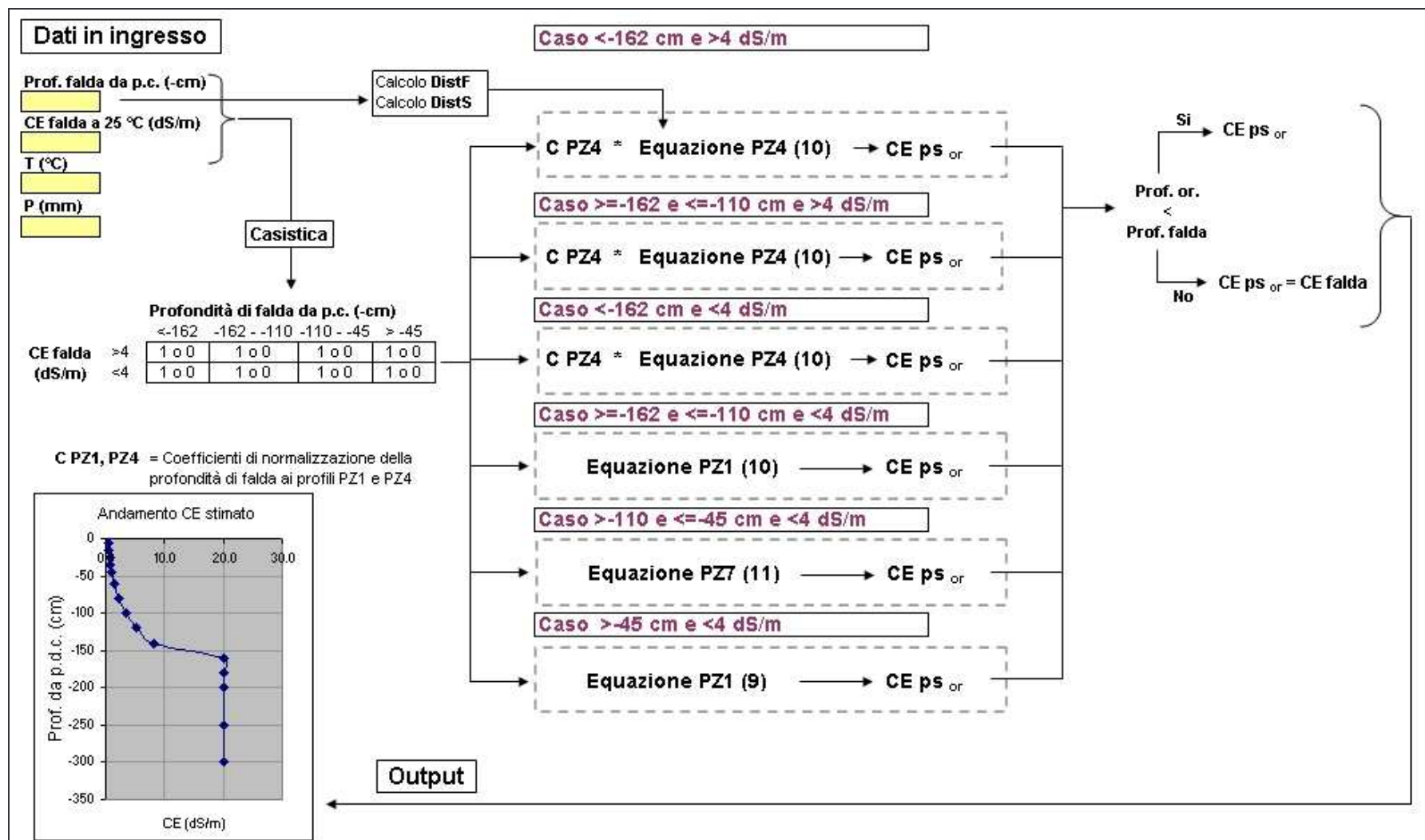


Figura 5.47. Schema del modello empirico nelle casistiche in cui si utilizzino separatamente le equazioni (9), (10) e (11).

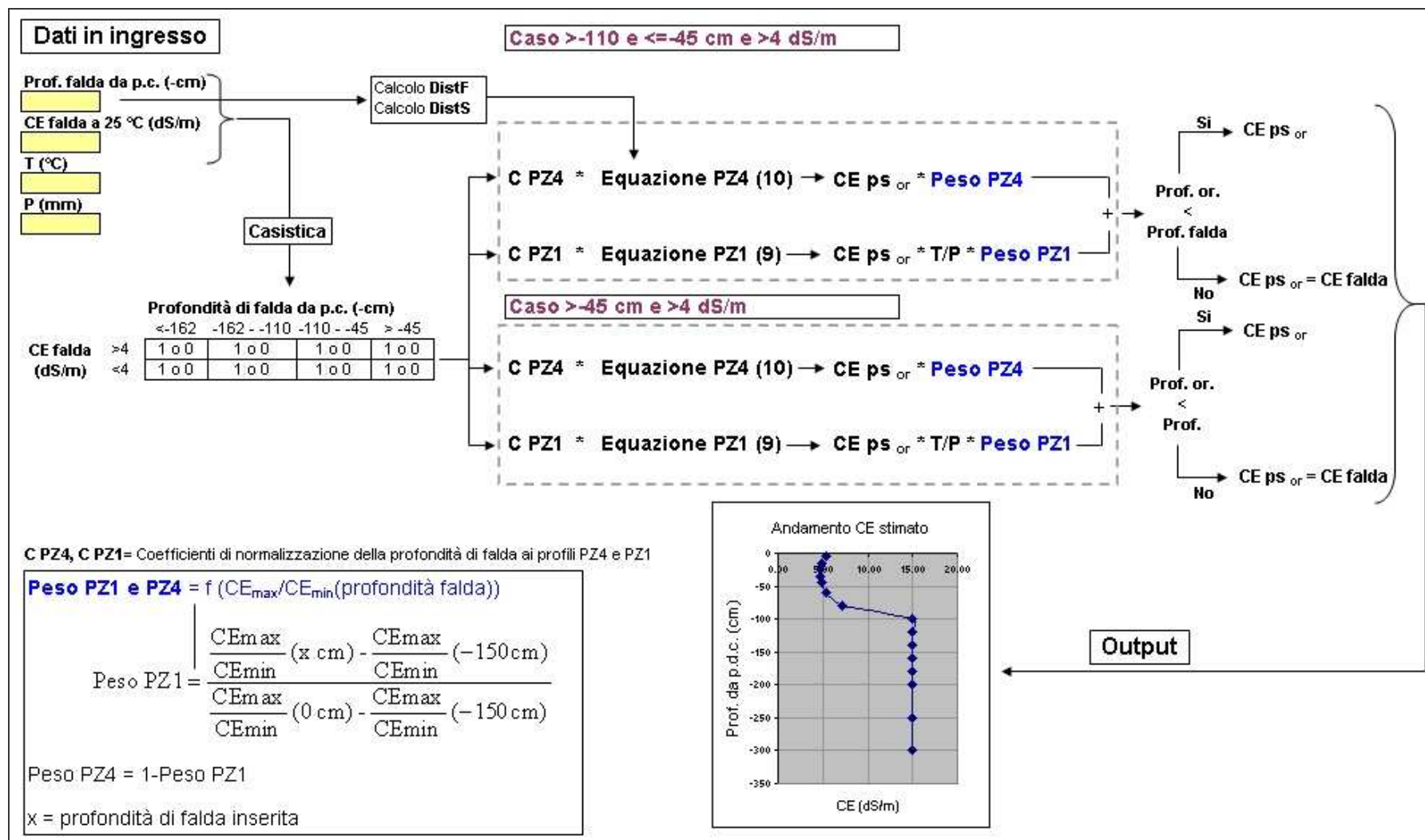


Figura 5.48. Schema del modello empirico nelle casistiche in cui si utilizzino le equazioni (9) e (10), ottenendo un risultato empiricamente pesato delle due equazioni.

Anche per queste due casistiche sono poste le condizioni che il valore di $CE_{ps_{or}}$ non debba essere superiore alla CE di falda se calcolato per orizzonti al di sotto di essa.

Il modello restituisce l'andamento della CE ps stimata per una serie di profondità comprese tra 0 e 3 metri sotto il p.c. (figure 5.47 e 5.48). Tali profondità rappresentano le distanze medie dal p.c. di ipotetici orizzonti che possono essere naturalmente modificate a bisogno.

Dai valori estrapolati il modello calcola anche la CE ps media entro il 1° metro di profondità. Tale dato può tornare utile per avere un valore medio della CE ps del suolo, nella fascia di profondità all'interno della quale insistono e captano il nutrimento la maggior parte delle radici delle specie vegetali arboree.

5.7. VALIDAZIONE DEL MODELLO DI STIMA DELLA CE NEI SUOLI

Il modello empirico è stato validato inserendo i medesimi dati utilizzati per determinare le equazioni di regressione lineare per i profili, oltre a quelli dei mesi di novembre, dicembre e gennaio utilizzati come controllo. In pratica sono stati inseriti i valori di profondità di falda, CE di falda, temperatura T e precipitazioni P, monitorate per i quattro profili. Inoltre le distanze dal p.c. sono state opportunamente settate a quelle relative alla profondità media degli orizzonti dei quattro profili.

I valori delle CE ps estrapolate dal modello sono state messe in relazione con quelle delle CE ps reali e dal confronto ne sono stati calcolati i coefficienti di determinazione R^2 .

I valori di CE ps estrapolati dal modello sui dati del profilo PZ1 (figura 5.49) si dimostrano non molto dissimili da quelli originariamente estrapolati dalla sola equazione di regressione (9). I valori bassi sono abbastanza appiattiti, ma gli aumenti estivi emergono in maniera evidente. Il coefficiente di determinazione ($R^2 = 0.6632$) è leggermente inferiore a quello dell'equazione (9) ma comunque accettabile.

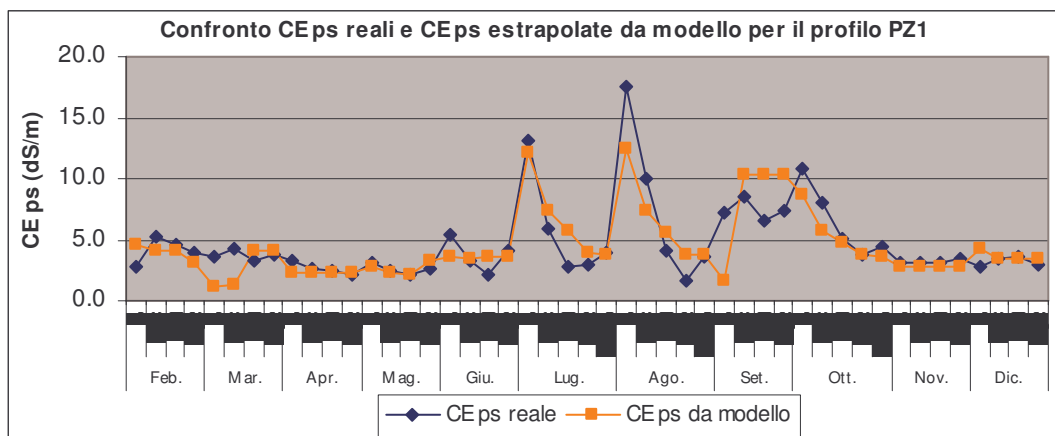


Figura 5.49. Confronto tra i dati di CE ps reali del profilo PZ1 e quelli di CE ps estrapolati dal modello empirico per il medesimo profilo ($R^2 = 0.6632$).

I valori di CE ps estrapolati dal modello sui dati del profilo PZ3 (figura 5.50) risultano essere i meno attendibili dei quattro profili. L' R^2 è abbastanza basso (0.5132) e sostanzialmente per il modello empirico risulta difficile stimare gli aumenti repentini di CE ps negli orizzonti superficiali durante i mesi di luglio e agosto. Tale stima risulta non facile in quanto tali aumenti, specialmente in questo profilo, sono in relazione a rapporti di causa non del tutto riconducibili ai soli quattro parametri inseriti nel modello ed alle variabili predittrici calcolate dalle equazioni (9), (10) e (11).

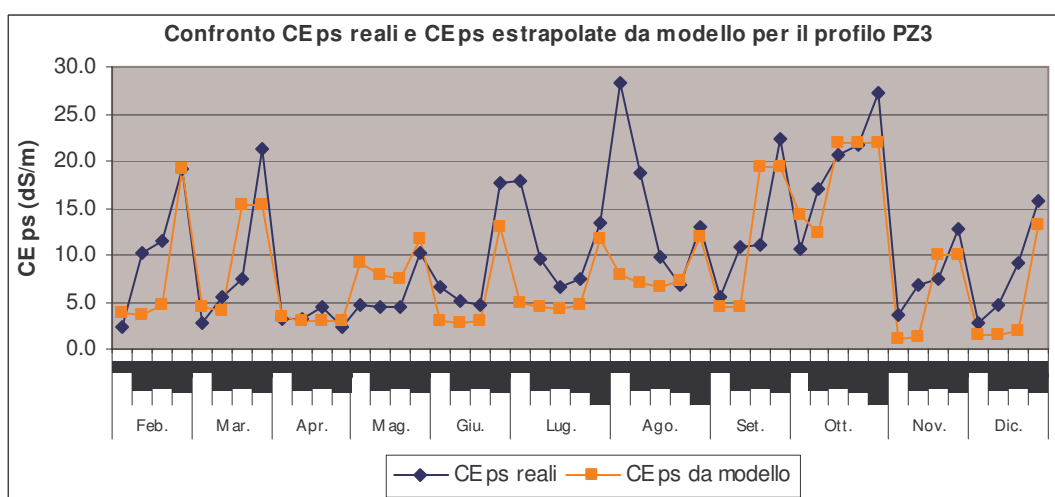


Figura 5.50. Confronto tra i dati di CE ps reali del profilo PZ3 e quelli di CE ps estrapolati dal modello empirico per il medesimo profilo ($R^2 = 0.5132$).

Come invece prevedibile i valori di CE ps estrapolati si dimostrano molto vicini a quelli reali per il profilo PZ4 (figura 5.51). In quanto il modello riesce a stimare bene i trend di aumento verso il basso della CE ps. Il coefficiente di normalizzazione della profondità C, onde generalizzare l'equazione (10) a tutte le casistiche di suoli simili a questo, porta ad una diminuzione del coefficiente di determinazione molto ridotta ($R^2 = 0.8959$) rispetto a quello ottenuto con l'utilizzo della sola equazione ($R^2 = 0.9079$).

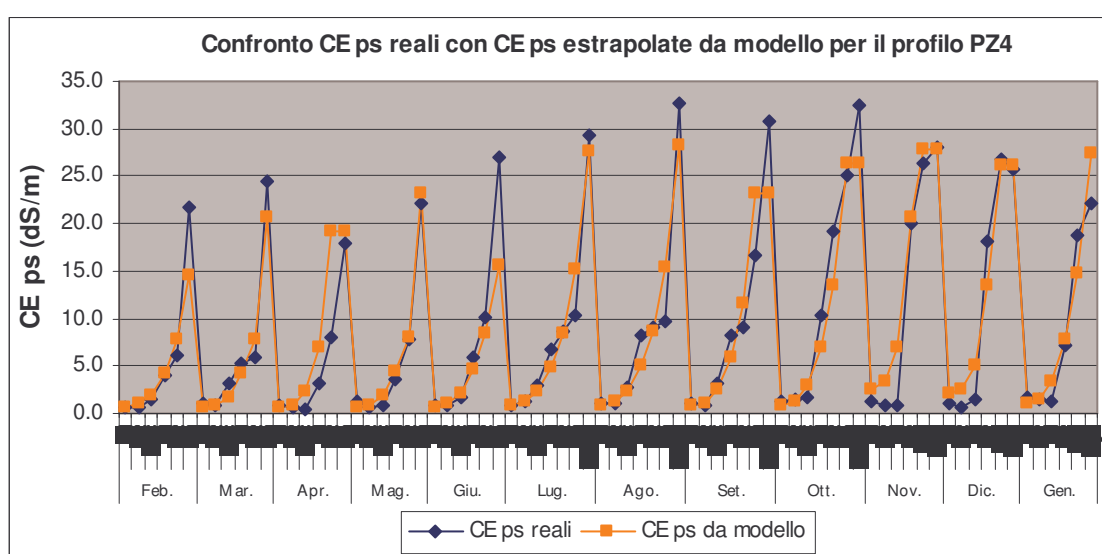


Figura 5.51. Confronto tra i dati di CE ps reali del profilo PZ4 e quelli di CE ps estrapolati dal modello empirico per il medesimo profilo ($R^2 = 0.8959$).

I valori di CE ps estrapolati dal modello sui dati del profilo PZ7 (figura 5.51) si dimostrano abbastanza simili a quelli di CE ps negli orizzonti più profondi, ma anche qui si osservano sottostime per i valori di CE ps degli orizzonti superficiali. Le motivazioni sono probabilmente simili a quelle ipotizzate per il profilo PZ3, tuttavia il coefficiente di determinazione può dirsi discreto ($R^2 = 0.6624$).

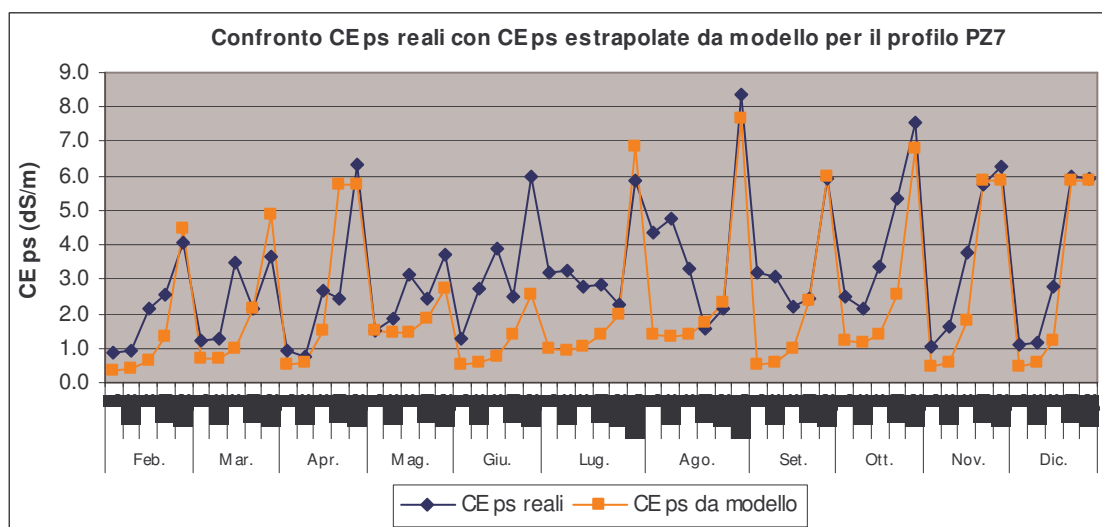


Figura 5.52. Confronto tra i dati di CE ps reali del profilo PZ7 e quelli di CE ps estrapolati dal modello empirico per il medesimo profilo ($R^2 = 0.6624$).

Da quanto si osserva, confrontando i dati reali di CE ps con quelli estrapolati, emerge come il modello empirico che si è messo a punto riesca a stimare bene gli andamenti di CE ps che seguono un trend di aumento verso gli orizzonti profondi. Questo tipo di trend si è dimostrato facilmente linearizzabile ed è solitamente riscontrabile in suoli con falda sufficientemente profonda da non permettere l'accumulo dei sali per risalita capillare in superficie (esempio il profilo PZ4). Quando questo fenomeno si verifica il modello riesce a stimare bene l'aumento di CE ps in superficie, solamente per suoli con valori di CE di falda simili a quelli riscontrati nel PZ1 dove l'equazione (9) assume peso notevole. La mancanza di un'equazione che descriva il comportamento della CE ps in suoli come il PZ3 (falda prossima al p.c. e con CE da alta ad estremamente alta) porta a dover stimare per via empirica tutta una serie di condizioni intermedie non sempre riconducibili ai soli parametri ambientali considerati.

Il modello pertanto è indubbiamente passibile di modifiche e migliorie sia operando sui vari coefficienti empirici, sia ricalcolando le equazioni di regressione in funzione dell'aggiunta di nuovi dati relativi al monitoraggio sui quattro profili indagati.

Naturalmente l'applicabilità di tale modello è da ritenersi valida su suoli che presentino caratteristiche chimico fisiche, perlomeno simili a quelli dai quali sono

stati presi i dati per redigerlo (es.: tessitura sabbiosa o sabbiosa-franca ed elevato contenuto di sostanza organica nell'orizzonte A).

In conclusione, al di là delle possibili e dovute migliorie, l'importanza di tale modello risiede sostanzialmente nel fatto che permette di fornire un dato sulla CE_{ps}, parametro fondamentale per la qualità dei suoli forestali costieri, a partire dai dati di CE e profondità di falda dal p.c.

6. INDAGINE SULLA PRESENZA DI MICROTOSSICI NEI SUOLI

Nell'ambito dello studio svolto sono stati presi in considerazione anche gli aspetti legati all'inquinamento da microtossici provenienti da fonti diffuse e localizzate, come causa di degradazione del suolo delle pinete.

Tale degradazione può determinare perdite di funzionalità del suolo o ripercuotersi a cascata nelle catene alimentari, attraverso la contaminazione di falde e corpi d'acqua, l'assorbimento da parte dei vegetali e degli esseri animali, fino all'uomo.

Nel suolo tali elementi hanno la capacità di rimanere in forma solubile con tendenza ad essere lisciviati verso le falde acquifere, oppure di andare incontro a fenomeni di adsorbimento. In questo ultimo caso, le aliquote fissate ai colloidi del suolo, rimangono comunque potenzialmente pericolose.

La caratteristica principale di questi elementi che desta maggiori preoccupazioni è la loro tossicità nei confronti della maggior parte degli esseri viventi, incluso l'uomo; tali elementi infatti, interferiscono con il normale metabolismo dei vegetali, degli animali e dell'uomo, inducendo sintomatologie più o meno gravi e, in casi estremi, la morte.

Lo studio svolto su alcune stazioni di rilievo pedologico della Pineta di San Vitale, ha fatto parte di un più ampio lavoro di ricerca svolto da Zito (2007), pianificato ed organizzato con lo scopo di realizzare un monitoraggio ambientale dei suoli, in grado di rappresentare in maniera compiuta lo stato di alcuni processi degradativi degli stessi, legato alla presenza di microtossici.

6.1 SCOPO DELL'INDAGINE

La normativa attualmente in vigore, D. Lgs. n. 152 del 3/3/2006, individua dei limiti per quanto riguarda le aliquote di metalli pesanti riscontrabili nei suoli, in seguito ad eventi accidentali o dolosi che potenzialmente possano generare contaminazione. La sola determinazione delle aliquote di elementi presenti negli orizzonti superficiali del suolo, non è di per sé in grado di fornire indicazioni esaustive. Infatti, tale informazione, non permette la distinzione tra origine naturale

od arricchimento determinato da attività antropica. Per tale motivo, al fine di evidenziare eventuali situazioni anomale di arricchimento, si è ritenuto opportuno applicare una metodica impostata sul confronto tra le concentrazioni totali di elementi riscontrate in superficie e quelle verificate in profondità, mediante la tecnica della fluorescenza a raggi x (WD-XRF). Un limite di tale tecnica analitica consiste nell'essere in grado di rilevare unicamente le aliquote totali di elementi, e non le aliquote assimilabili che, rappresentando la fase più prontamente disponibile per le piante, costituiscono la forma più preoccupante in cui può ritrovarsi un elemento. Si è quindi affiancato alla fluorescenza a raggi x, anche la determinazione mediante spettrometria ad emissione al plasma (ICP-OES), in grado di rilevare sia le frazioni totali che assimilabili.

L'impostazione metodologica adottata ha voluto perseguire quindi diversi obiettivi: i) integrazione del quadro conoscitivo sui suoli regionali, adottando metodiche standardizzate in seno alla regione; ii) verifica della situazione relativamente alle aliquote assimilabili degli elementi; iii) confronto tra metodiche analitiche per verificarne la sensibilità.

6.1.1. Breve introduzione ai microtossici: Ag, Cd, Ni, Pb, Tl

Il termine “microtossici” di solito viene usato per identificare una classe di elementi che provocano effetti tossici negli organismi viventi anche a concentrazioni molto basse (Casaliccchio, 2000). Il grado di tossicità varia a seconda dell'individuo, della specie e dell'organo in cui avviene l'accumulo dell'elemento.

I microtossici considerati in questo studio sono stati Ag, Cd, Ni, Pb e Tl, tre dei quali (Cd, Ni, Pb), sulla base di Sequi (1989), sono prettamente definiti come “metalli pesanti”.

All'interno degli studi sugli elementi in tracce nei suoli si pone particolare attenzione alle aliquote assorbite dalle piante, perché attraverso queste ultime gli elementi tossici risalgono la catena alimentare fino all'uomo.

Il suolo interagisce in modo continuo con gli altri comparti ambientali e per la sua capacità di ritenzione è un serbatoio in cui si accumulano tutte le sostanze antropogeniche.

Nella tabella 6.1 vengono riportati i microtossici analizzati che da studi scientifici condotti risultano essere dannosi per i diversi organismi viventi (Casalicchio, 2000; Capri e Trevisan, 2002).

Tabella 6.1. Elementi tossici per piante animali e uomo.

Microtossici					
Vegetali		Cd	Ni	Pb	Tl
Animali	Ag	Cd		Pb	Tl
Uomo	Ag	Cd	Ni	Pb	Tl

Per la tossicità dei microtossici considerati nei confronti di vegetali, animali e uomo si rimanda a quanto trattato da Zito (2007). In tabella 6.2 sono invece riportati alcuni valori di concentrazione totali e assimilabili nei suoli per Cd, Ni e Pb che possono creare fenomeni di tossicità in alcune specie vegetali a seconda della loro sensibilità.

Tabella 6.2. Concentrazione di alcuni elementi potenzialmente tossici in alcuni suoli agricoli.

	Valori normali (mg/kg)		Valori di rischio (mg/kg)	
	Totale (2)	Estraibile (1)	Totale (2)	Estraibile (1)
Cd	0.5 - 1.7	0.2 - 1.1	1.7 - 5.0	1.5 - 2.0
Ni	3.0 - 120	1.0 - 10	120 - 350	15 - 35
Pb	2.0 - 100	0.5 - 1.8	100 - 200	10 - 20

1 : estraibile in EDTA (Casalicchio, 2000).

2 : Barbiroli et al., 2000.

Tipicamente i microtossici sono presenti in concentrazioni molto basse nel suolo, ma valori anomali possono derivare sia da fonti naturali che antropiche, dove per fonti naturali si intende principalmente il substrato geologico da cui si origina il suolo per weathering.

Entrambe queste fonti possono essere puntiformi o diffuse: le prime sono localizzate in un ambito spaziale ristretto e le seconde ricoprono un'area più vasta.

In generale la presenza dei microtossici oggetto di studio deriva:

- dalla disgregazione del materiale originario del suolo (Ag, Cd, Ni, Pb e Tl);
- da incendi di foreste (Cd);
- dai fertilizzanti chimici (Cd);
- dalle acque d'irrigazione (Cd);
- dalla distribuzione dei reflui organici (zootecnici, fanghi di depurazione, compost ed ammendanti) (Cd e Ni);
- dai residui della combustione del carbone e dei prodotti petroliferi (Cd e Ni);
- dalla combustione di rifiuti e produzione di cemento (Tl e Ni);
- dall'apporto diretto di rifiuti urbani e non (Ag e Cd);
- dalle industrie siderurgiche e metallurgiche e dall'attività di estrazione mineraria (Ag, Cd, Ni e Pb);
- dalle emissioni delle auto e da altre fonti (Cd e Pb).

I microtossici considerati una volta arrivati nel suolo, possono dare origine ad una serie di reazioni che ne modificano la biodisponibilità come l'adsorbimento, la precipitazione, l'ossidoriduzione, la complessazione, la chelazione e lo scambio ionico. Questi sono tutti processi controllati sia dalle proprietà chimico-fisiche dell'elemento sia dalle caratteristiche dei suoli e del clima (Capri e Trevisan, 2002). In generale i metalli si rendono più disponibili in suoli con pH basso e bassa CSC, mentre i metalloidi sono più disponibili in condizioni di alcalinità. Gli elementi sensibili al pH, tra quelli considerati, e più mobili in ambiente acido sono Ag, Cd e Ni. Il Cd ad esempio trattenuto dal terreno aumenta del triplo per ogni punto in più di pH all'interno dell'intervallo 4 – 7.7 in terreni sabbioso-limosi (Christensen, 1984).

Un altro fattore importante è la quantità di sostanza organica. Questa può avere un duplice effetto perché la complessazione dei metalli può ridurne o aumentarne la mobilità come conseguenza della formazione di complessi organo-metallici solubili che possono spostarsi verso il basso lungo il profilo. I microtossici considerati che hanno maggiore tendenza a legarsi con la sostanza organica sono Ag e Pb. I metalli possono inoltre associarsi ai minerali argillosi, che hanno una

elevata CSC, oppure formare complessi con i fosfati o ossidi e idrossidi di ferro, manganese e alluminio.

6.2. AREA DI INDAGINE

L'intera area presa in esame (163 km²) si estende a nord sino al fiume Reno, ad est sino al limite della Pineta di San Vitale con la Piallassa Baiona, ad ovest sino alla S.S. 16 Adriatica ed al limite del Comune di Ravenna, mentre a sud sino a ridosso del centro urbano di Ravenna. La zona di studio, sulla base della ventosità prevalente, risulta potenzialmente esposta agli effetti di ricaduta di inquinanti del pennacchio di fumo della zona industriale di Ravenna. Altra fonte significativa è rappresentata agli scarichi veicolari della S.S. 309 Romea.

Le stazioni all'interno della Pineta San Vitale sono state scelte per osservare in che misura, la presenza di una copertura forestale e la diversa litologia dei cordoni dunali rispetto ai suoli alluvionali adiacenti, possa influire sulla diversa presenza di alcuni microtossici, come già osservato da Gallamini (2006).

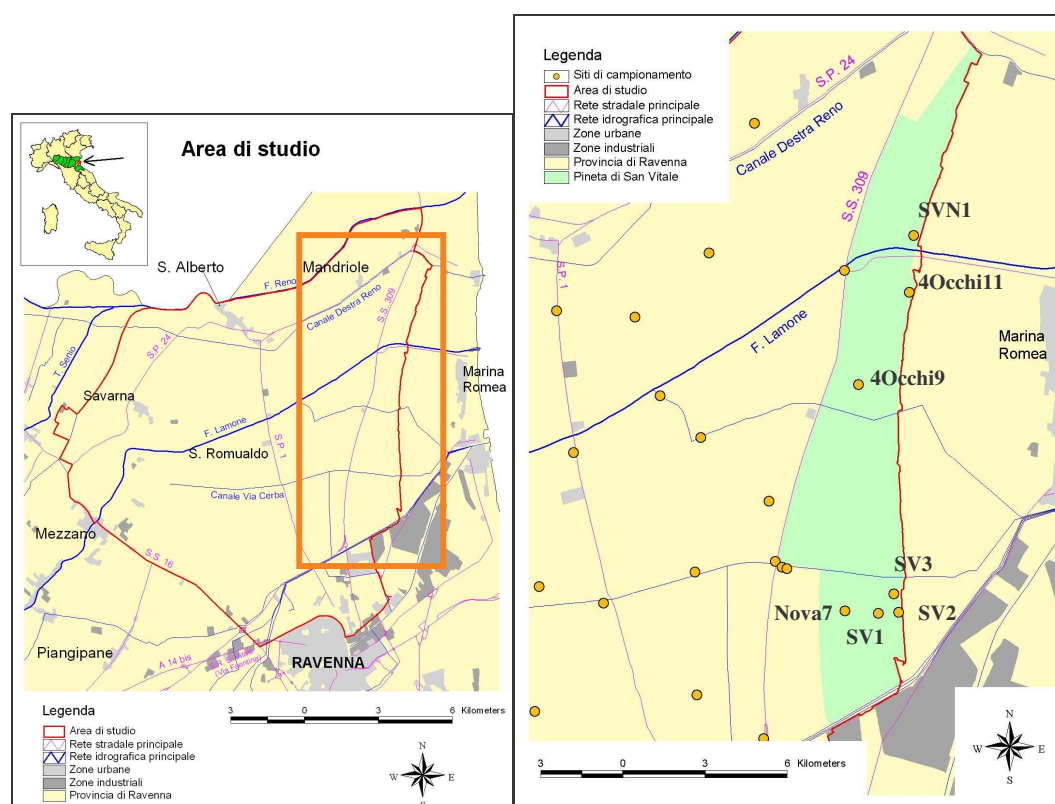


Figura 6.1. Area di studio complessiva dell'indagine sui microtossici (sinistra) e siti di campionamento effettuati nelle stazioni di rilievo pedologico di Pineta San Vitale (destra).

6.3. MATERIALI E METODI DELLE INDAGINI SVOLTE

I punti di campionamento all'interno di Pineta San Vitale sono stati individuati in corrispondenza di sette delle stazioni di rilievo già studiate per la caratterizzazione pedologica, per l'esattezza i punti SV1, SV2, SV3, Nova7, 4Occhi9, 4Occhi11 e SVN1.

Il campionamento è stato effettuato mediante carotaggio con trivella. In ogni punto di rilievo, il suolo è stato campionato a due profondità dal p.c.: da 0 – 30 cm per l'orizzonte superficiale e da 80 a 100 cm per l'orizzonte profondo. La profondità di quest'ultimo è stata scelta in modo da avere valori rappresentativi del fondo naturale o background (Sammartino, 2004; Sammartino et al., 2002; Bianchini et al., 2002).

Il campionamento a diversa profondità ha reso necessario definire delle sigle che identificassero in modo univoco i campioni dell'orizzonte superficiale, indicati con il post fisso “t”, e quelli profondi, indicati con il post fisso “p”. I campioni della pineta sono stati prelevati ad inizio settembre 2006, in tempi molto ravvicinati per avere le stesse condizioni meteorologiche pregresse.

I campioni, portati in laboratorio, sono stati seccati e setacciati come già descritto per i rilievi della caratterizzazione pedologica (sottopar. 3.2.2).

Per quanto riguarda le procedure di preparazione dei campioni alle analisi e le rispettive determinazioni analitiche vengono esposte di seguito.

Preparazione campione ed analisi in ICP-OES delle aliquote totali.

Il campione di suolo è stato mineralizzato per via umida all'interno di apposito forno a tecnologia MDR (Motor Microwave Digestion), modello Mileston 1200 Mega. Le miscela di acidi concentrati utilizzati per la digestione e gli step di mineralizzazione sono formulate sulla base delle indicazioni della casa costruttrice dello strumento. Il campione mineralizzato viene poi opportunamente diluito per la lettura strumentale.

Lo strumento analitico utilizzato per effettuare la spettroscopia in emissione al plasma, ICP-OES (*Inductive Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy*) di seguito indicata con la sigla ICP, è lo Spectro (Circular Optical System CIR.O.S.CCD).

Il campione da analizzare è aspirato mediante una pompa nella camera di nebulizzazione al cui interno è trasformato in aerosol. Quindi in forma di aerosol viene iniettato nella torcia assiale dove viene atomizzato, eccitato e ionizzato da un flusso di argon (plasma) sottoposto a radiofrequenze. L'intensità delle radiazioni emesse dagli atomi ritornati allo stato fondamentale viene misurata da rivelatori ottici e la risposta viene trasformata in un segnale elettrico.

Nel nostro caso, avendo utilizzato per la mineralizzazione una miscela di HF 50% e HNO₃ 65%, si è utilizzato un nebulizzatore in teflon. Il generatore di radiofrequenza opera a 27.12 MHz, mentre il gruppo ottico possiede una serie di rilevatori che coprono un'ampiezza di spettro da 125 a 770 nm.

Il software di controllo dello strumento calcola in automatico il limite di rilevabilità (DL = Detection Limit) per ciascun elemento, cioè la concentrazione che si ottiene quando il segnale differisce significativamente dal fondo (tabella 2.2.a). In tabella 2.2.b vengono riportate anche le condizioni strumentali relative alle analisi effettuate.

Tabella 6.3. (a) Linee d'emissione per ogni elemento e corrispondente limite di rilevabilità; (b) Condizioni strumentali dello Spectro CIR.O.S. CCD.

Linea di emissione (nm)	Elemento	DL (ppb)
328.1	Ag	2,119
228.8	Cd	0,778
341.5	Ni	1,288
168.2	Pb	7,505
190.9	Tl	5,222

(a)

Condizioni strumentali dell'ICP	
Search Window	0,9 nm
Plasma gas flow rate	12,0 l/min
Generator Power	1,4 kW
Auxiliary gas flow rate	1 l/min
Nebulizer flow	1 l/min
Pump speed	25 rpm
Rinse time	15 sec
Sample update	60 sec
Replicates	3
Total time	1 - 3 min

(b)

Per ogni campione lo strumento ha effettuato tre repliche, sulle quali il software di gestione ha elaborato il valore medio e la deviazione standard. Questo sistema già garantirebbe la precisione dei risultati strumentali, ma per effettuare un ulteriore controllo si possono fare due o tre repliche di uno stesso campione e calcolarne la riproducibilità. La precisione, vale a dire la valutazione della

ripetibilità del metodo, viene definita come la deviazione standard relativa in percentuale (RSD %) dei risultati analitici di uno stesso campione secondo la seguente equazione:

$$\text{RSD \%} = (\text{SD} / X_m) * 100$$

dove X_m è la media delle concentrazioni delle repliche e SD è la loro deviazione standard.

L'accuratezza che, invece, viene definita come la distanza del valore medio delle repliche da quello di uno standard certificato di suolo, può essere calcolata come l'errore relativo secondo la seguente equazione:

$$E (\%) = [(X_m - \text{V.C.}) / \text{V.C.}] * 100$$

dove V.C. è il valore certificato di concentrazione dell'elemento (Skoog e Leary, 1992).

Il materiale certificato utilizzato, la cui matrice più si avvicina a quella dei campioni, è il CRM 141R (Calcareous loam soil). Sono state analizzate con questo standard tre repliche applicando la stessa metodica utilizzata per le aliquote totali dei campioni.

Per ogni elemento sono state individuate le linee d'emissione più adatte tra quelle raccomandate dagli organismi internazionali di ricerca (EPA - Environmental Protection Agency - e APHA - American Public Health Association).

In tabella 6.4. sono mostrati: i valori medi di concentrazione rilevati per Ag, Cd, Ni e Pb nelle repliche del suolo calcareo franco (CRM 141R), le rispettive precisioni (RSD), i valori certificati riportati per lo stesso standard (V.C.) e l'accuratezza della determinazione di laboratorio rispetto a questi.

Tabella 6.4. Valori di precisione e d'accuratezza calcolati sulle repliche del CRM 141R.

(V.C. = VALORE CERTIFICATO; \ = NON DISPONIBILE)

	Media (mg · kg ⁻¹)	SD	V.C. (mg · kg ⁻¹)	Incertezza su V.C.	RSD (%)	Accuratezza (%)
Ag 328.1	1,01	0,66	\	\	24	\
Cd 228.8	14,36	0,62	14,60	0,50	4	-2
Cd 214.4	15,30	0,74	14,60	0,50	5	5
Ni 231.6	52,03	1,44	103,00	3,00	3	-49
Ni 341.5	93,63	3,96	103,00	3,00	4	-9
Pb 168.2	30,96	2,60	57,20	1,20	8	-46
Pb 220.4	33,73	3,19	57,20	1,20	9	-41

Allo stesso modo in figura 6.2 viene riportato un istogramma con i valori medi di concentrazione rilevati (V.R.) per il Cd, Ni e Pb nelle repliche del suolo calcareo franco (CRM 141R) confrontati con i valori certificati (V.C.).

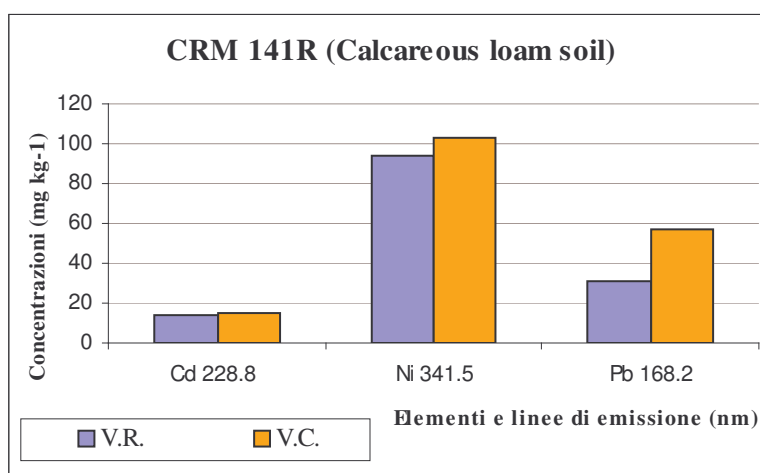


Figura 6.4. Confronto tra i valori ottenuti e quelli certificati.

Per le curve di calibrazione dei microtossici analizzati, ed altre informazioni circa la strumentazione utilizzata si rimanda a Zito (2007).

Preparazione campione ed analisi in ICP-OES delle aliquote assimilabili.

Il campione è stato fatto reagire con una soluzione di DTPA sulle indicazioni del MiPAF (2000) e successivamente centrifugato. Il surnatante è stato poi filtrato e diluito opportunamente per l'analisi in ICP. Per le aliquote assimilabili la procedura di analisi all'ICP è la medesima utilizzata per le aliquote totali con la

differenza dell'utilizzo di un nebulizzatore in vetro, oltre all'eventuale uso di standard a concentrazioni diverse.

Preparazione campione ed analisi in XRF.

Il principio analitico su cui si basa la spettroscopica a raggi x è lo stesso usato per l'emissione al plasma. Se ad un atomo neutro si fornisce una quantità sufficiente di energia questo emette delle radiazioni caratteristiche, la cui lunghezza d'onda è una funzione del numero atomico. I raggi x, però, usati sono onde corte ad alta energia, quindi i fenomeni di transizione elettronica che possono avvenire all'interno dell'atomo, come conseguenza dell'assorbimento di questi fotoni, interessano l'intero set elettronico dello stesso. Un qualsiasi materiale può assorbire i raggi x principalmente per effetto fotoelettrico. Gli atomi, di cui il materiale è composto, assorbono i fotoni incidenti, liberano uno degli elettroni più interni e rimangono in uno stato eccitato. Questo fenomeno viene detto assorbimento fotoelettrico e gli elettroni liberati vengono chiamati fotoelettroni. Un atomo eccitato tende a tornare allo stato fondamentale, e, quando questo avviene, ha luogo all'interno dell'atomo il fenomeno della fluorescenza. La fluorescenza si ha quando un secondo elettrone più esterno occupa la lacuna lasciata dal fotoelettrone liberando un fotone di energia pari al salto di livello elettronico. I fotoni emessi per fluorescenza hanno energie discrete e caratteristiche per ogni specie atomica, così da poter essere utilizzati per il riconoscimento elementare.

In generale l'assorbimento di un campione viene misurato come l'intensità dei raggi x trasmessi e viene espresso dalla seguente equazione esponenziale:

$$I = I_0 e^{-\mu \rho t}$$

dove I_0 è l'intensità dei raggi x incidenti (di energia E o lunghezza d'onda λ), μ è il coefficiente di attenuazione di massa ($\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$), ρ è la densità ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) e t è lo spessore del campione (cm). Il coefficiente di attenuazione di massa di un materiale è dato dalla somma di due coefficienti, quello di assorbimento fotoelettrico e quello di diffusione di massa (Zito, 2007).

Lo strumento analitico che è stato utilizzato per la spettroscopia in fluorescenza a raggi x (XRF) è il Philips PW 1480/10. E' un tipo di spettrometro a dispersione di

lunghezza d'onda (WD wavelength dispersive), ovvero lo spettro di fluorescenza viene disperso in lunghezze d'onda discrete grazie all'uso di un dispositivo di dispersione come ad esempio un cristallo. Lo strumento può analizzare elementi che hanno numero atomico compreso tra 8 e 92.

Per la calibrazione sono stati utilizzati standard con composizione chimica e fisica complessiva molto prossima a quella dei campioni, in questo modo si è potuto assumere che gli effetti matrice siano gli stessi sia per gli standard che per i campioni.

Ai fini dell'analisi mediante XRF sono stati considerati 4 elementi in traccia quali: Ni, Pb, V, Cr e 5 macroelementi quali: CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃, SiO₂, MgO. Le concentrazioni sono espresse in ppm per gli elementi in traccia ed in percentuale di peso sul campione per gli elementi maggiori. Il calcolo di queste è stato effettuato utilizzando una matrice di correzione secondo il metodo descritto da Franzini *et al.* (1972; 1975) e da Leoni e Saitta (1976).

Prima di sottoporre il campione ad analisi XRF deve essere stimata la perdita per calcinazione LOI (Loss On Ignition) il contenuto di sostanza organica e di carbonato presente nei sedimenti (Heiri *et al.*, 2001). È un'analisi di tipo gravimetrico e consiste nell'inserire il campione, posto all'interno di un crogiuolo in platino, in un forno ad alta temperatura. La materia organica viene interamente persa con il rilascio di CO₂, mentre dei carbonati rimane CaO come residuo (Heiri *et al.*, 2001).

La stima della precisione e accuratezza per le determinazioni degli elementi in traccia è inferiore al 5% e passa a 10-15% quando si analizzano concentrazioni inferiori a 10 ppm.

Al fine di stimare le anomalie di concentrazione degli elementi riconducibili ad apporti antropici rispetto ad un livello naturale di fondo, è stato necessario determinare sull'intera area di studio il livello di background naturale che viene definito come quel valore relativo che permette di distinguere, in un insieme di campioni, la concentrazione naturale dell'elemento, da quella influenzata antropicamente (Matshullat *et al.*, 2000).

Per la determinazione di tale parametro è stato utilizzato un metodo statistico, ci si è pertanto basati sull'assunzione che ogni processo coinvolto nella generazione di una serie di dati produca un data set avente una distribuzione più o meno normale, e che tali processi si sovrappongano ampiamente. Quindi le anomalie positive e negative nei valori, devono essere individuate ed eliminate, perché sono generate da un processo antropico che disturba la distribuzione normale dei dati. Il metodo statistico che si è scelto è detto “tecnica del 2σ iterativo” (Matshullat et *al.*, 2000) ed è stato adottato per i campioni profondi (80-100 cm) al fine di ottenere un range normale di valori rappresentativi del background naturale dei suoli dell'area, verificando anche se vi siano altre fonti di disturbo. Questo tipo di tecnica costruisce una distribuzione normale approssimata intorno al valore modale dei dati originali, cioè intorno al valore a cui corrisponde la classe di valori con frequenza più alta.

Il metodo consiste nel calcolare media e deviazione standard (σ) del data set originale, determinando un intervallo dato da $\text{media} \pm 2\sigma$. Tutti i valori che sono al di fuori di questo range vengono omessi, e lo stesso intervallo viene ricalcolato sui campioni restanti, fino ad ottenerne uno in cui sono inclusi tutti i valori.

Come limite di fondo naturale è stato adottato il limite superiore di background (LSB), ovvero il valore medio finale ottenuto con la tecnica del 2σ iterativo + 2σ .

Per il calcolo del limite superiore di background è stato usato il programma MATLAB 6.0 (MathWorks, Inc.). Lo stesso software è stato utilizzato per il calcolo delle matrici di correlazione tra gli elementi analizzati e per il confronto dei risultati analitici di Ni e Pb ottenuti con le due diverse metodiche analitiche: ICP e XRF.

6.4. RISULTATI ANALITICI

Vengono ora presentati i dati ottenuti dalle analisi effettuate con i metodi ICP e XRF sui campioni profondi e superficiali di suolo considerando solamente quelli delle stazioni pedologiche all'interno di Pineta San Vitale.

Le concentrazioni delle aliquote totali e assimilabili dei campioni superficiali e profondi per ciascun elemento d'indagine (Ag, Cd, Ni, Pb, Sn) sono visualizzate nelle tabelle 6.5, 6.6, 6.7 e 6.8. I valori di concentrazione del tallio in tutti i siti di

campionamento risultano tutti al di sotto del limite di rilevabilità dello strumento (tabella 6.3. a).

Tabella 6.5. Aliquote totali nei campioni superficiali di suolo (0-30 cm) analizzati con ICP.

Campione	Ag	Cd	Ni	Pb
	mg·kg⁻¹	mg·kg⁻¹	mg·kg⁻¹	mg·kg⁻¹
SV1t	0.11	0.23	22	3.7
SV2t	0.75	n.r.	21	16.4
SV3t	0.47	0.15	17.5	10.5
4Occhi9t	1.34	0.63	14.4	10.7
4Occhi11t	1.07	0.28	19.5	17.8
Nova 7t	0.86	n.r.	15.2	11.3
SVN1t	n.r.	0.49	60	35

(n.r. = valori inferiori al limite di rilevabilità)

Tabella 6.6. Aliquote totali nei campioni profondi di suolo (80-100 cm) analizzati con ICP.

Campioni	Ag	Cd	Ni	Pb
	mg·kg⁻¹	mg·kg⁻¹	mg·kg⁻¹	mg·kg⁻¹
SV1p	n.r.	0.26	66	17.1
SV2p	n.r.	0.39	50	20
SV3p	n.r.	0.27	59	28
4Occhi9p	n.r.	0.29	38	18.8
4Occhi11p	n.r.	0.15	50	23
NOVA7p	n.r.	0.25	64	22
SVN1p	n.r.	0.25	56	18.3

(n.r. = valori inferiori al limite di rilevabilità)

Tabella 6.7. Aliquote assimilabili nei campioni superficiali di suolo (0-30 cm) analizzati con ICP.

Campione	Ag	Cd	Ni	Pb
	mg·kg⁻¹	mg·kg⁻¹	mg·kg⁻¹	mg·kg⁻¹
SV1t	n.r.	n.r.	0.30	1.60
SV2t	0.001	0.05	0.68	1.26
SV3t	n.r.	0.03	0.03	0.66
4Occhi9t	0.01	0.01	0.28	4.27
4Occhi11t	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
Nova 7t	n.r.	0.01	0.40	1.80
SVN1t	0.01	0.02	0.33	1.42

(n.r. = valori inferiori al limite di rilevabilità)

Tabella 6.8. Aliquote assimilabili nei campioni profondi di suolo (80-100 cm) analizzati con ICP.

Campione	Ag	Cd	Ni	Pb
	mg·kg⁻¹	mg·kg⁻¹	mg·kg⁻¹	mg·kg⁻¹
SV1p	0.01	n.r.	0.18	0.28
SV2p	n.r.	0.003	0.18	0.79
SV3p	n.r.	n.r.	0.04	0.15
4Occhi9p	0.24	0.002	0.11	0.82
4Occhi11p	n.r.	n.r.	0.03	0.10
NOVA7p	0.01	n.r.	0.13	0.51
SVN1p	0.03	n.r.	0.03	0.14

(n.r. = valori inferiori al limite di rilevabilità)

Nelle tabelle 6.9 e 6.10 sono riportati i valori di concentrazione totale degli elementi per i campioni superficiali (0 - 30 cm) e per quelli profondi (80 - 100 cm). Oltre a Ni e Pb sono mostrati nelle tabelle anche V, Cr e gli elementi maggiori (CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃, SiO₂, MgO). Questi ultimi sono stati elaborati graficamente per verificare l'esistenza di una diversa provenienza del materiale parentale geologico. La trattazione di tali elementi viene di seguito presentata per quanto concerne l'area della pineta.

Tabella 6.9. Aliquote totali dei campioni superficiali (0 - 30 cm) di suolo analizzati con XRF.

Campione	Ni	Pb	V	Cr	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	LOI
	(mg · kg ⁻¹)	(mg · kg ⁻¹)	(mg · kg ⁻¹)	(mg · kg ⁻¹)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
SV1t	74	24	48	126	4.6	9.2	2.9	55.4	2.9	21.1
SV2t	67	34	56	112	5.5	10.5	3.4	62.6	3.1	10.1
SV3t	62	25	48	103	7.7	9.6	3.1	62.0	2.7	10.5
4Occhi9t	49	30	38	86	7.0	9.1	2.7	67.9	2.6	6.2
4Occhi11t	61	25	53	135	4.9	9.6	3.3	68.7	2.6	6.3
NOVA7t	67	34	46	117	2.4	10.5	3.1	70.7	2.6	6.1
SVN1t	56	25	47	116	5.9	9.4	3.1	67.2	2.5	7.4

Tabella 6.10. Aliquote totali dei campioni profondi (80 - 100 cm) di suolo analizzati con XRF.

Campione	Ni	Pb	V	Cr	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	LOI
	(mg · kg ⁻¹)	(mg · kg ⁻¹)	(mg · kg ⁻¹)	(mg · kg ⁻¹)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
SV1p	93	17	55	161	9.9	9.9	3.8	59.8	3.6	8.6
SV2p	54	15	36	75	8.8	8.8	2.9	54.7	2.9	14.7
SV3p	59	13	42	108	9.1	9.1	3.3	60.1	2.9	9.1
4Occhi9p	44	12	35	82	9.0	9.0	2.7	62.1	2.7	8.6
4Occhi11p	65	17	39	110	9.3	9.3	2.6	68.1	2.6	5.9
NOVA7p	86	15	44	136	9.9	9.9	3.3	62.0	3.4	7.8
SVN1p	68	18	47	140	9.2	9.2	3.5	61.5	3.1	8.3

6.5. ELABORAZIONE DATI

6.5.1. Studio sulle correlazioni tra gli elementi

Per individuare le possibili relazioni esistenti tra i vari elementi analizzati dai campioni dell'intera area sono state calcolate diverse matrici di correlazione con coefficienti di Pearson. Come riportato da Zito (2007), per individuare correlazioni significative, perlomeno con l'analisi in XRF dei campioni profondi, è stato necessario considerare i campioni in due gruppi distinti, in funzione del materiale parentale di origine dei suoli. Sono pertanto stati divisi i campioni prelevati in suoli di origine alluvionale, a tessitura più fine, da quelli prelevati lungo i cordoni dunali di apporto deltizio con tessitura più grossolana. In questi ultimi ricadono anche i campioni della Pineta San Vitale.

Nei siti dei cordoni dunali il Ni in profondità presenta un'alta correlazione solo con Fe_2O_3 ($r = 0,6397$) e con il MgO ($r = 0,822$). Probabilmente dovuto al fatto che la frazione fine del suolo è scarsa ed il Ni tende a concentrarsi nei minerali ferromagnesiferi delle frazioni fini.

L'analisi delle correlazioni tra concentrazioni di Pb in profondità e quelle di altri elementi considerati ha messo in luce una correlazione con Al_2O_3 ($r = 0,538$), V ($r = 0,510$) e una correlazione non ben spiegabile con la silice ($r = 0,64$).

Generalmente nei campioni dei cordoni dunali le correlazioni di Ni e Pb con gli altri elementi analizzati in XRF sono più deboli rispetto ai campioni in zona alluvionale, probabilmente in virtù del fatto che, ad eccezione della silice, gli altri elementi tendono ad essere più frequenti nei minerali argillosi delle frazioni fini dei suoli alluvionali.

La silice è il costituente principale della componente sabbiosa, infatti la si trova in maggiore quantità nei campioni dei cordoni dunali. In questi la presenza di alluminio e calcio è minore rispetto alle zone circostanti (figura 6.5). L'alluminio ha correlazione positiva con il vanadio e il cromo, che tendono a concentrarsi nella frazione fine.

Nei campioni dei cordoni dunali si osservano le maggiori concentrazioni di Cr, nonostante questi presentino una tessitura prevalentemente sabbiosa. La spiegazione a tale apparente contraddizione è legata alla diversa origine dei sedimenti che nel sistema dunale sono Po-derivati e naturalmente più ricchi di Cr.

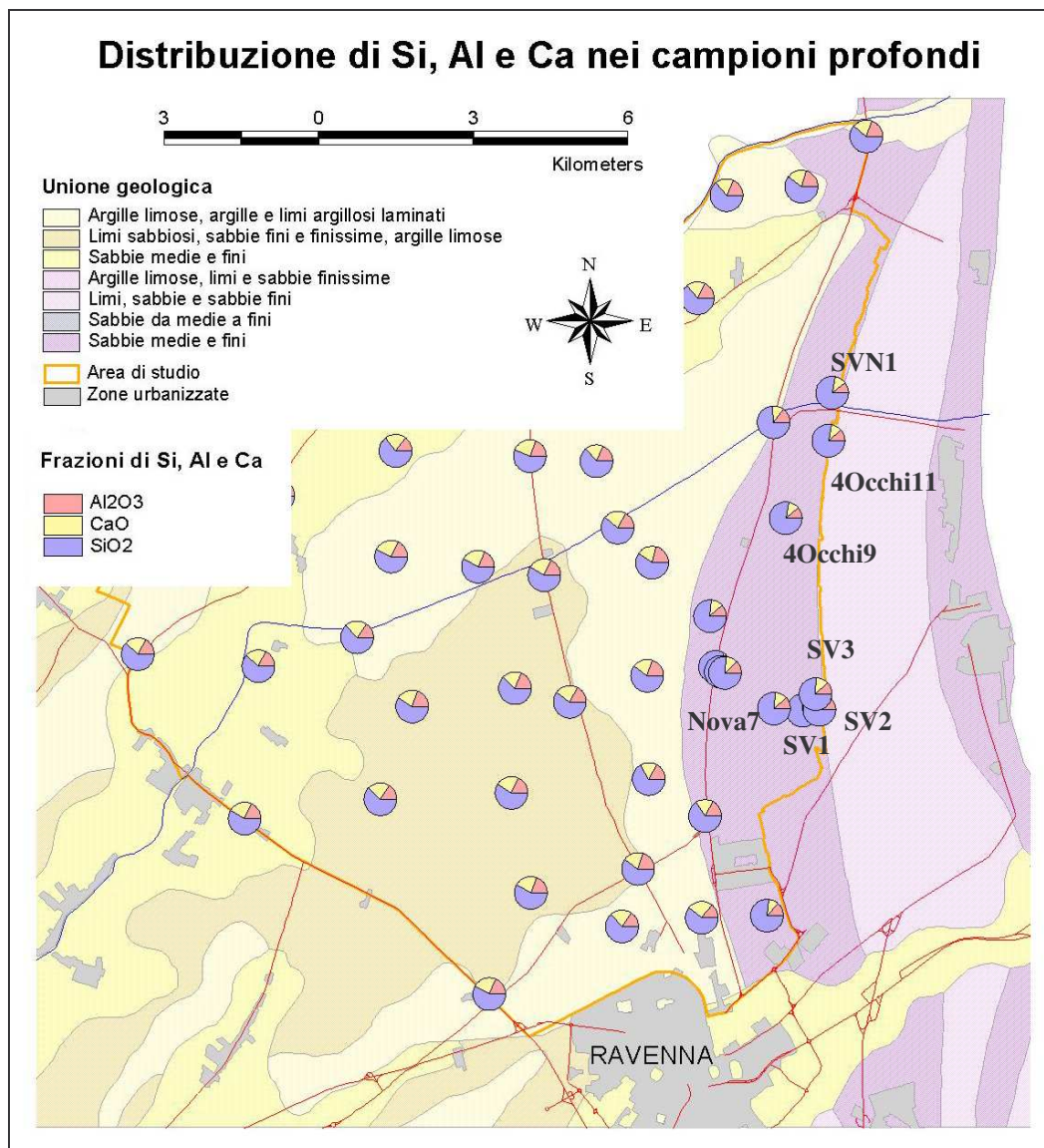


Figura 6.5. Digrammi a torta di silice, alluminio e calcio (%) nei campioni a 80-100cm, con indicati i siti di Pineta S. Vitale.

6.5.2. Valori di background ed elaborazione dei dati analizzati

Nella fase preliminare allo studio la scelta di prelevare i campioni a una profondità di un metro è stata compiuta in base alle conclusioni riportate in alcuni studi effettuati nella zona sud-orientale del Bacino del Po. Secondo Sammartino et al. (2002), nel lavoro presentato alla Conferenza di Goldschmidt del 2002, i valori di background per alcuni elementi quali Ni, Cr, Zn, Cu e Pb possono essere determinati a un metro di profondità. Questa ipotesi è verificata, all'interno dello

stesso lavoro, confrontando i valori a un metro con i dati ottenuti da carote prelevate a 30 m di profondità in depositi di età olocenica con risultati confortanti.

Nel calcolo del limite superiore di background (LSB) col metodo del 2σ iterativo sono stati considerati i valori dei campioni profondi dell'intera area studiata da Zito (2007) in quanto i soli sette siti rilevati in pineta non rendono attendibile una simile trattazione statistica.

Di seguito verranno discussi i risultati ottenuti dall'analisi dei campioni prelevati in Pineta San Vitale, trattando singolarmente gli elementi considerati.

Argento. Nell'area di studio le concentrazioni rilevate di Ag sono ricondotte principalmente alla degradazione del substrato geologico e in zone fortemente antropizzate dell'area possono aver influito le altre due fonti antropiche citate nel sottopar 6.1.1.

Il comportamento dell'argento nel suolo dipende dal pH e dalle condizioni redox, infatti è più mobile in suoli acidi in cui vi sono condizioni ossidanti. La solubilità dell' Ag^+ aumenta al crescere dell'Eh, cioè verso condizioni ossidanti, quindi può essere liberato dai principali minerali che lo contengono. In condizioni riducenti ed a pH superiori a 4 i sali di Ag sono tutti insolubili. Inoltre l'Ag tende ad accumularsi nell'orizzonte A, perché forma dei complessi chelati con la sostanza organica (Mango, 1999; Kabata-Pendias, 2001).

Per l'argento, le concentrazioni totali rilevate con la tecnica ICP alle profondità 0-30 ed 80-100 cm sono riportate nelle tabelle 6.5 e 6.6. In tabella 6.11 sono riportati i parametri statistici sui campioni della pineta ed il limite superiore di background. Il limite superiore di background trovato per l'argento è 3.8 ppm, ma tutti i campioni profondi della pineta presentano hanno dato risultati al di sotto del limite di rilevabilità ed i campioni superficiali presentano comunque aliquote molto al di sotto di tale valore. I campioni che contribuiscono a rendere tale limite al di sopra di alcuni riferimenti bibliografici sono infatti posizionati nella zona dei suoli alluvionali (Zito, 2007).

In letteratura si trovano dei valori generali per i suoli che vanno da 0.2 a 5 ppm (Casalicchio, 2000), mentre dai dati diffusi dal Foregs Geochemical Atlas (2006) sulla base di campionamenti effettuati in tutta Europa risulta un intervallo di valori per l'argento nei suoli profondi di 0.02-2.07 ppm.

Tabella 6.11. Parametri statistici calcolati per i valori dell'argento e LSB riportato da Zito (2007).

Elemento	ARGENTO			
Tecnica analitica	ICP			
Profondità (cm)	0 - 30		80 - 100	
Aliquota	Totali	Assimilabili	Totali	Assimilabili
Media (mg·kg⁻¹)	0.9	0.002	n.d.	0.07
Mediana (mg·kg⁻¹)	0.86	n.d.	n.d.	0.02
SD (mg·kg⁻¹)	0.33	n.d.	n.d.	0.12
Max (mg·kg⁻¹)	1.34	0.01	n.r.	0.24
Min (mg·kg⁻¹)	0.47	0.001	n.r.	0.01
Totali *	6	2	0	4
LSB (mg·kg⁻¹)	3.8			

* : con valore rilevato; n.r. : non rilevato; n.d. : non determinabile.

Visto il pH dei suoli dell'area d'indagine e i bassi valori di argento totale rilevati, le quantità di argento biodisponibile per le piante, in forma ionica o sotto forma di composti solubili, sono risultate molto basse e in molti casi non rilevabili, sia in superficie sia in profondità (tabelle 6.8, 6.7).

In tabella 6.11 sono riportati i dati statistici delle aliquote assimilabili superficiali e profonde di Ag. Inoltre, per rendere i dati riguardanti gli assimilabili meglio interpretabili sono state calcolate le percentuali di argento biodisponibile su concentrazione totale sia per i campioni superficiali che di profondità con i relativi parametri statistici.

Dalle tabelle 6.6 e 6.8 si osserva che paradossalmente in alcuni casi le aliquote assimilabili presentano valori, seppur molto bassi, ma comunque rilevabili rispetto alle aliquote totali, questo è legato al fatto che il rapporto suolo/soluzione estraente utilizzato per gli assimilabili è molto maggiore rispetto a quello impiegato per i totali e questo può portare in sede di lettura con ICP ad avere estratti più concentrati per gli assimilabili. Questo induce comunque a considerare non determinabili le percentuali di assimilabili in tali campioni, aventi aliquota totale al di sotto del limite di rilevabilità, come indicato per tutti i campioni profondi

(tabella 6.12). I valori determinati sui campioni superficiali mostrano percentuali biodisponibili molto basse. Questo indica che l'argento nell'ambiente studiato può essere difficilmente assorbito dalle piante e che le concentrazioni totali presenti sono fortemente legate alla fase minerale o alla sostanza organica presente.

Tabella 6.12. Percentuale delle aliquote assimilabili dell'argento (%), con parametri statistici associati.

Punti rilievo	Profondità (cm)	
	0 - 30	80 - 100
SV1	n.d.	n.d.
SV2	0.18	n.d.
SV3	n.d.	n.d.
4 Occhi 9	0.58	n.d.
4 Occhi 11	n.d.	n.d.
Nova 7	n.d.	n.d.
SVN1	2.5	n.d.
Parametri statistici		
Media	0.38	n.d.
Mediana	n.d.	n.d.
SD	n.d.	n.d.

n.d. : non determinabile.

Cadmio. Le concentrazioni di Cd per i suoli non contaminati sono abbastanza basse con una variabilità legata alla diversa composizione del substrato pedogenetico sottoposto ad alterazione. Per citare alcuni esempi: 0.3 – 1 ppm in Inghilterra (Abbott et al., 1997), oppure 2,4 ppm in Spagna su suolo agricolo calcareo (Moral et al., 2005). Quantità più alte si ritrovano in suoli antropizzati dove l'origine della contaminazione può essere di diversa natura.

Il comportamento del cadmio nel suolo è fortemente influenzato dal pH. Il Cd diventa mobile in condizioni ossidanti a pH minori di 8, quindi la sua mobilità, massima tra pH 4,5 e 5,5, è probabilmente maggiore durante la stagione di maggiori precipitazioni in una situazione di pH più basso. Il Cd avendo raggio ionico simile al Ca può sostituirlo nei minerali di calcio. In suoli calcarei infatti si è notato come il cadmio si trovi in maggiore quantità nella frazione assorbita ai carbonati e in quella residuale (legato ai minerali), mentre la parte scambiabile è bassa (Moral et al., 2005).

Fattore che invece aumenta la mobilità del Cd è la presenza di sostanza organica, che per effetto della chelazione ne accresce la frazione scambiabile (He e Singh, 1993).

Per il cadmio, le concentrazioni totali rilevate con la tecnica ICP alle profondità 0-30 ed 80-100 cm sono riportate nelle tabelle 6.5 e 6.6. In tabella 6.13 sono riportati i parametri statistici sui campioni della pineta ed il limite superiore di background, uguale a 0.4 ppm. Due dei campioni superficiali che rispetto a tutta l'area superano tale limite ricadono in Pineta San Vitale (4Occhi9t e SVNT1t).

I suoli localizzati nella pineta infatti hanno uno strato superficiale organico O con una lettiera da poco a molto decomposta e un contenuto di sostanza organica molto elevato soprattutto in superficie (tabella 4.6, cap. 4). Sono ambienti non modificati in cui la deposizione atmosferica può portare ad un accumulo di metalli come il Cd o il Pb negli orizzonti superficiali per effetto della complessazione di questi ultimi da parte della sostanza organica. Le concentrazioni totali sono mediamente più elevate nei campioni superficiali, anche se molto più variabili (tabella 6.13).

Tabella 6.13. Parametri statistici calcolati per i valori del cadmio e LSB riportato da Zito (2007).

Elemento	CADMIO			
Tecnica analitica	ICP			
Profondità (cm)	0 - 30		80 - 100	
Aliquota	Totali	Assimilabili	Totali	Assimilabili
Media (mg·kg ⁻¹)	0.36	0.02	0.27	0.003
Mediana (mg·kg ⁻¹)	0.28	0.02	0.26	n.d.
SD (mg·kg ⁻¹)	0.2	0.02	0.07	n.d.
Max (mg·kg ⁻¹)	0.63	0.05	0.39	0.003
Min (mg·kg ⁻¹)	0.15	0.01	0.15	0.002
Totali *	5	5	7	2
LSB (mg·kg ⁻¹)	0.4			

* : con valore rilevato; n.r. : non rilevato; n.d. : non determinabile.

In condizioni di pH alcalino, come quelle rilevate nei suoli della pineta, le concentrazioni biodisponibili di cadmio possono essere influenzate dalla capacità di scambio cationico (presenza di sostanza organica) del singolo suolo e dalle condizioni redox dello stesso. Sembra infatti che la quota solubile del metallo aumenti in condizioni ossidanti, come possono essere quelle vicino all'interfaccia

suolo-aria, e sia minore in condizioni riducenti. Inoltre in suoli come quelli di Pineta San Vitale la decomposizione della sostanza organica induce una diminuzione del pH, che può portare ad un incremento della frazione solubile di cadmio.

Dai non molti dati disponibili si può osservare che le aliquote assimilabili sono superiori nei campioni superficiali (tabelle 6.5 e 6.6), sempre nei campioni superficiali è riscontrabile un'aliquota in percentuale di Cd assimilabile sul totale molto maggiore rispetto a quelli in profondità (tabella 6.14). Questo va a riconferma del ruolo giocato da pH e sostanza organica nell'aumentare la frazione biodisponibile di Cd.

Tabella 6.14. Percentuale delle aliquote assimilabili del cadmio (%), con parametri statistici associati.

Punti rilievo	Profondità (cm)	
	0 - 30	80 - 100
SV1	n.d.	n.d.
SV2	n.d.	0.87
SV3	17.6	n.d.
4 Occhi 9	1.29	0.79
4 Occhi 11	n.d.	n.d.
Nova 7	n.d.	n.d.
SVN1	4.5	n.d.
Parametri statistici		
Media	7.8	0.83
Mediana	4.5	n.d.
SD	8.6	n.d.

n.d. : non determinabile.

Nichel. Per quanto riguarda l'intera area studiata da Zito (2007), la presenza di depositi sedimentari di diversa provenienza potrebbe influire sui valori di Ni e originare dei valori "anomali". Il prelievo di carote di sedimenti del periodo olocenico a circa 25 m di profondità ha rivelato valori mediani di Ni di 94 ppm e 85 ppm in due punti a nord e a nord-ovest della città di Ravenna (Amorosi et al., 2002). Sammartino (2004) riferisce di un valore medio di 65 ppm di nichel in un intervallo di 47-82 ppm alla profondità a 1 m in siti localizzati all'interno dell'intera area di campionamento.

Dall'alterazione delle rocce e dei suoli il nichel può essere rilasciato dai minerali che lo contengono, in condizioni ossidanti e a basso pH, ma la sua

mobilità è scarsa. In generale il 90-95% del nichel è in forma non disponibile per le piante, perché immobilizzato nella frazione solida (argille, sostanza organica, carbonati, ossidi di Fe e Mn, fosfati) e solo una quota inferiore al 10% con valori medi di 3-7% (in DTPA) è assimilabile dalle piante. Quest'ultima poi si riduce se si passa da terreni neutri o acidi a sub-alcalini o alcalini (Capri e Trevisan, 2002).

Per il nichel, le concentrazioni totali rilevate con la tecnica ICP alle profondità 0-30 ed 80-100 cm sono riportate nelle tabelle 6.5 e 6.6. In tabella 6.15 sono riportati i parametri statistici sui campioni della pineta. Il limite superiore di basckground è di 77 ppm e non è superato da nessun valore dei campioni superficiali della pineta, i quali risultano, ad eccezione dell'SVN1, sensibilmente inferiori a quelli profondi. La media dei valori superficiali è molto più bassa ma, come indica la deviazione standard, questi sono molto più variabili rispetto ai profondi. Il valore più elevato nel sito SVN1 è riconducibile probabilmente alla maggiore quantità di sostanza organica in superficie capace di trattenere maggiori quantità di nichel rispetto ai suoli agricoli in zona alluvionale.

Per quanto riguarda gli altri siti, l'impoverimento superficiale, in generale, può essere causato dalla presenza di condizioni locali che favoriscono la lisciviazione dell'elemento assieme alla sostanza organica che ne permette la mobilizzazione.

Tabella 6.15. Parametri statistici calcolati per i valori del nichel e LSB riportato da Zito (2007).

Elemento	NICHEL					
Tecnica analitica	ICP				XRF	
Profondità (cm)	0 - 30		80 - 100		0 - 30	80 - 100
Aliquota	Totali	Assimilabili	Totali	Assimilabili	Totali	Totali
Media (mg·kg ⁻¹)	24	0.34	55	0.10	62	67
Mediana (mg·kg ⁻¹)	19.5	0.32	56	0.11	62	65
SD (mg·kg ⁻¹)	16.0	0.21	9.5	0.01	8.0	17.4
Max (mg·kg ⁻¹)	60	0.68	66	0.18	73	93
Min (mg·kg ⁻¹)	14.4	0.03	38	0.03	49	44
Totali *	7	6	7	7	7	7
LSB (mg·kg ⁻¹)	77 (ICP)			90 (XRF)		

* : con valore rilevato; n.r. : non rilevato; n.d. : non determinabile.

Le concentrazioni totali di nichel analizzate con XRF (tabelle 6.9 e 6.10) presentano valori mediamente più elevati rispetto alle concentrazioni totali determinate in ICP, sia per i campioni superficiali che per quelli profondi.

L'applicazione del metodo statistico per la determinazione del limite superiore di background sulle concentrazioni di Ni in profondità ha rivelato nel sito SVI l'esistenza di un valore anomalo (93 ppm) che potrebbe essere spiegato con la diversa origine del sedimento. Dall'analisi sulla provenienza dei suoli svolta da Zito (2007) si è infatti evidenziato come in alcuni campioni presenti nella pineta e sul paleo cordone dunale subito a ovest di questa sia più visibile la diversa origine Po-derivata dei sedimenti. Il limite superiore di background calcolato su questi valori è di 90 ppm, più alto di circa 13 ppm di quello calcolato sulle concentrazioni rilevate con ICP. Nessuno dei valori di nichel analizzati in profondità è al di sopra del limite superiore di background tranne SV1 come su detto (tabella 6.10), mentre, i valori rilevati in superficie, sono tutti inferiori al limite superiore di background di 90 ppm.

In pineta si osservano 3 siti (SV2, SV3 e 4Occhi9) in cui i valori superficiali superano, seppur di poco, quelli profondi. Questo è verosimilmente riconducibile all'alta quantità di sostanza organica presente in superficie che, associandosi al Ni rilasciato per alterazione del substrato, ne aumenta la concentrazione negli strati superficiali. A supportare questa ipotesi, può tornare utile la relazione osservata tra Ni totale determinato in XRF sui campioni superficiali e le concentrazioni di carbonio organico calcolate sui primi 30 cm di profondità dai dati della caratterizzazione pedologica (tabella 4.6, cap. 4). Tale relazione restituisce un coefficiente di correlazione di Pearson abbastanza buono: $R = 0.6975$.

La frazione assimilabile di Ni in suoli alcalini e calcarei, come quelli presenti nell'area d'indagine, in generale è molto bassa. Nei suoli della pineta la disponibilità di forme solubili di Ni dipende dal pH del suolo, che agisce su anioni e ossidi di Fe e Mn, e da alcuni tipi di acidi organici che formano con il nichel complessi molto solubili. Nonostante le concentrazioni totali di nichel in profondità siano molto superiori a quelle superficiali totali (tabelle 6.5 e 6.6), la frazione assimilabile è decisamente maggiore in superficie (tabella 6.16). In tutti i siti della

pineta si hanno valori superiori in superficie sia in percentuale che in termini di valori assoluti ed il campione con una maggiore aliquota assimilabile è l'SV2. Questo va a supporto del fatto che in superficie la forte presenza di sostanza organica crea le condizioni per rendere il Ni maggiormente biodisponibile.

Tabella 6.16. Percentuale delle aliquote assimilabili del nichel (%), con parametri statistici associati.

Punti rilievo	Profondità (cm)	
	0 - 30	80 - 100
SV1	1.41	0.28
SV2	3.3	0.35
SV3	0.15	0.07
4 Occhi 9	1.94	0.28
4 Occhi 11	n.d.	0.07
Nova 7	2.6	0.20
SVN1	0.56	0.05
Parametri statistici		
Media	1.66	0.19
Mediana	1.60	0.20
SD	1.20	0.12

n.d. : non determinabile.

Piombo. Il contenuto di piombo nei suoli è legato alla composizione del substrato da cui il suolo si origina. Questo spiega l'alta variabilità delle concentrazioni totali in suoli non contaminati in diversi paesi. Si hanno ad esempio intervalli da <4 a 85 ppm tra 0 e 25 cm o da <4 a 105 ppm tra 50 e 70 cm (Reimann *et al.*, 2000). Lavori eseguiti vicino all'area di campionamento di Zito (2007), in suoli non contaminati presentano range di 14 – 24 ppm a profondità di 70 – 100 cm (Bianchini *et al.*, 2002) e range di 5 – 24 ppm a profondità di 80 – 100 cm (Sammartino *et al.*, 2004).

Dalle estrazioni sequenziali in suoli calcarei si è notato come il piombo si trovi in maggiore quantità nella frazione residuale, in quella legata a carbonati e a ossidi di Fe e Mn, mentre la parte scambiabile è nulla (Moral *et al.*, 2005)

La mobilità del piombo è legata al pH; infatti tra 6 e 10 il Pb è in forma di idrossido ed è molto reattivo nei confronti degli anioni con cui forma i sali insolubili, quindi la quantità che può essere assimilata dalle piante è quasi nulla.

Oltre al pH, influisce sulla mobilità la quantità e il tipo di sostanza organica presente, infatti è stato osservato come il Pb possa accumularsi nella lettiera non decomposta delle foreste oppure possa legarsi a composti umici che ne

incrementano la solubilità mediando la sua migrazione verso gli orizzonti più profondi.

Per il piombo, le concentrazioni totali rilevate con la tecnica ICP alle profondità 0-30 ed 80-100 cm sono riportate nelle tabelle 6.5 e 6.6. In tabella 6.17 sono riportati i parametri statistici sui campioni della pineta. Nel calcolo del limite superiore di background, pari a 24 ppm, sono stati esclusi diversi campioni profondi (Zito, 2007) tra i quali anche l'SV3, che presenta un valore di 28 ppm. I valori superficiali sono mediamente inferiori ma la loro variabilità è molto più elevata, come evidenziato dalle deviazioni standard in tabella 6.17.

Nella pineta il limite superiore di background è superato in superficie nel sito SVN1 (35 ppm) ed anche qui le cause sono probabilmente riconducibili ad un possibile luogo di accumulo del piombo, giunto per deposizione nello strato più superficiale dove è presente una grande quantità di sostanza organica.

Tabella 6.17. Parametri statistici calcolati per i valori del piombo e LSB riportato da Zito (2007).

Elemento	PIOMBO					
Tecnica analitica	ICP				XRF	
Profondità (cm)	0 - 30		80 - 100		0 - 30	80 - 100
Aliquota	Totali	Assimilabili	Totali	Assimilabili	Totali	Totali
Media (mg·kg ⁻¹)	15.0	1.84	21	0.40	28	15.4
Mediana (mg·kg ⁻¹)	11.3	1.51	20	0.28	25	15.3
SD (mg·kg ⁻¹)	9.8	1.25	3.8	0.31	4.5	2.1
Max (mg·kg ⁻¹)	35	1.80	28	0.79	34	17.8
Min (mg·kg ⁻¹)	3.7	0.66	17.1	0.10	24	12.4
Totali *	7	6	7	7	7	7
LSB (mg·kg ⁻¹)	24 (ICP)			24 (XRF)		

* : con valore rilevato; n.r. : non rilevato; n.d. : non determinabile.

Le concentrazioni totali di piombo analizzate con tecnica XRF sono riportate nelle tabelle 6.9 e 6.10. Il limite superiore di background determinato per il piombo con il metodo statistico è di 24 ppm (uguale al valore ottenuto sulle concentrazioni analizzate con l'ICP). I valori dei campioni superficiali presentano tutti concentrazioni maggiori rispetto ai campioni profondi. Sia gli uni che gli altri comunque presentano deviazioni standard, in rapporto alle medie, più ridotte rispetto ai corrispettivi campioni determinati con tecnica ICP (tabella 6.17). Da tabella 6.9 si osserva che in superficie il limite superiore di background è superato

nei siti SV2, 4Occhi9 e Nova7, mentre negli altri risulta circa al pari di esso. Questo, al di là della diversità di risultati ottenuti legati all'uso di due diverse tecniche analitiche, va a riconferma del ruolo della sostanza organica come fattore di accumulo del piombo nell'orizzonte superficiale.

In generale le concentrazioni di piombo assimilabile che si possono trovare in suoli calcarei e con alto pH, come quelli dell'area di studio, sono molto bassi.

Tuttavia come si nota da dati delle tabelle 6.7 e 6.8, in 6 siti su 7 il piombo assimilabile è sensibilmente superiore in superficie che in profondità. Le percentuali di piombo biodisponibile calcolate sulla concentrazione totale sia in superficie sia in profondità (tabella 6.18) mostrano valori mediamente più alti in superficie di circa 10 volte. Questa maggiore disponibilità è probabilmente riconducibile alla presenza di una maggiore quantità di sostanza organica che legandosi al piombo lo rende più solubile.

Tabella 6.18. Percentuale delle aliquote assimilabili del piombo (%), con parametri statistici associati.

Punti rilievo	Profondità (cm)	
	0 - 30	80 - 100
SV1	43	1.62
SV2	7.6	3.9
SV3	6.4	0.52
4 Occhi 9	40	4.4
4 Occhi 11	n.d.	0.42
Nova 7	15.9	2.3
SVN1	4.1	0.78
Parametri statistici		
Media	19.5	1.99
Mediana	10.0	2.0
SD	17.5	1.61

n.d. : non determinabile.

6.5.3. Indagine sulla provenienza dei suoli

Studi condotti sui sedimenti del bacino del Po hanno rilevato valori anomali di Ni e Cr rispetto a quelli nazionali. Queste anomalie sono state associate ad un fattore naturale e non antropico legato alla provenienza dei sedimenti stessi

(Amorosi e Sammartino, 2007). I numerosi sondaggi geognostici svolti nella Pianura Padana sud orientale già citati nel sottoparagrafo 2.2.1, hanno permesso di ricostruire le modificazioni dell'assetto idrogeologico di tale zona nelle varie epoche, lasciando presupporre che il sistema di cordoni dunali su cui è sita la Pineta di San Vitale sia stato originato da apporti sedimentari dell'antico sistema deltizio del Po (Po di Primaro), a differenza delle zone retrostanti i cordoni, o poste più a sud, dove i sedimenti sono legati agli apporti dei fiumi appenninici.

Per verificare la provenienza dei sedimenti in letteratura sono riportati diversi indicatori geochimici quali ad esempio i rapporti Cr/V, Ni/V e Cr/Al (Amorosi e Sammartino, 2007). Per il calcolo degli indici, in questo studio, sono stati utilizzati i valori dei campioni profondi analizzati con il metodo analitico XRF. Inoltre, come peraltro riferito da Amorosi e Sammartino (2007), è stata confermata la minor presenza di CaO nei campioni posti sui cordoni dunali come già accennato nel sottopar. 6.5.1. Questi campioni presentano infatti un quantitativo di CaO < 11.3% a differenza dei campioni esterni ai cordoni dunali (Zito, 2007).

Il rapporto Cr/V viene considerato un buon indicatore di provenienza ed è stato spesso utilizzato per dividere a seconda dell'origine i sedimenti del bacino padano. I campioni della pineta presentano rapporti Cr/V tra 2 e 2.6, riconducibili ad un origine Po-derivata.

I campioni più interni alla pineta presentano valori di Ni/V maggiori di 1.5 (Nova7p, SV1p e 4Occhi9p), gli altri presentano valori più bassi (1 – 1.5) ma comunque superiori ai valori tipici dei fiumi appenninici ($Ni/V < 1$).

Le aliquote di Cr nei campioni profondi della pineta portano ad ottenere un rapporto Cr/Al > 11.5, e pertanto riconducibile a derivazione deltizia, sui campioni profondi SV1p, 4Occhi11p ed SVN1p.

6.5.3. Indagine sui fattori di arricchimento

Al fine di individuare eventuali arricchimenti superficiali nei siti indagati e valutarne il grado di contaminazione si è deciso, dopo un attenta ricerca in letteratura, di calcolare i fattori di arricchimento (EF) tra concentrazioni totali superficiali e quelle profonde ottenute con i metodi analitici ICP e XRF.

In generale il fattore di arricchimento rappresenta la standardizzazione dell'elemento indagato su uno di riferimento.

Nel calcolo dei fattori di arricchimento sono stati utilizzati i valori in superficie (0-30 cm) e quelli in profondità (80-100 cm), questi ultimi usati come valori di riferimento dei diversi siti.

Vista la variabilità tessiturale riscontrata sull'intera area considerata da Zito (2007), si è deciso di usare una forma normalizzata del fattore di arricchimento che compensi sia la variabilità mineralogica sia quella granulare (Liaghati et al., 2003).

Come elemento idoneo per la normalizzazione è stato considerato l'alluminio, in quanto è ampiamente usato in letteratura. I valori del fattore di arricchimento (EF) sono stati calcolati usando la formula seguente (Sutherland, 2000; Liaghati et al., 2003; Loska et al., 2004):

$$EF = (C_n/B_n)/(C_{ref}/B_{ref})$$

dove C_n è il contenuto dell'elemento esaminato nel campione di suolo superficiale, B_n è il contenuto dell'elemento di riferimento (Al) nel campione di suolo superficiale, C_{ref} è il contenuto dell'elemento esaminato nel campione di suolo di riferimento e B_{ref} è il contenuto dell'elemento di riferimento (Al) nel campione di riferimento.

Le categorie del grado di contaminazione utilizzate per discriminare i valori ottenuti sono quelle proposte da Sutherland (2000) e applicate successivamente da altri autori (Loska et al., 2004; Loska et al., 2005; Sammartino, 2004). Il grado di contaminazione aumenta al crescere dell'arricchimento superficiale (tabella 6.19).

Tabella 6.19. Classi di arricchimento da Sutherland (2000).

EF	Valutazione
< 2	da impoverimento a arricchimento minimo
2 - 5	arricchimento moderato
5 - 20	arricchimento significativo
20 - 40	arricchimento molto alto
> 40	arricchimento estremamente alto

In tabella 6.20 sono riportati i fattori di arricchimento calcolati per elemento in ciascun sito di campionamento.

Tabella 6.20. Fattori di arricchimento per elemento nei siti indagati.

Fattore di arricchimento (EF)						
Camp ioni	Ag (1)	Cd (1)	Ni (1)	Pb (1)	Ni (2)	Pb (2)
SV1	n.d.	0,96	0,35	0,24	0,86	1,49
SV2	n.d.	n.d.	0,35	0,68	1,04	1,87
SV3	n.d.	0,53	0,28	0,35	1,00	1,82
4Occhi 9	n.d.	2,16	0,37	0,56	1,11	2,42
4Occhi 11	n.d.	1,77	0,38	0,75	0,90	1,46
Nova7	n.d.	n.d.	0,22	0,49	0,73	2,10
SVN1	n.d.	1,92	1,05	1,86	0,80	1,38

1 : valori analizzati con ICP.

2 : valori analizzati con XRF.

n.d. : valori non calcolati per mancanza del dato superficiale o profondo, che risultava essere inferiore al limite di rilevabilità dell'ICP.

Per quanto riguarda l'argento non è stato possibile in nessun sito calcolare l'EF perché, come visto in tabella 6.6 i campioni profondi presentano tutti valori al di sotto del limite di rilevabilità.

Relativamente al cadmio invece si osserva un arricchimento moderato in superficie nel sito 4Occhi9 ed un arricchimento minimo, al limite con la seconda classe, nell'SVN1. Questi due siti superano comunque in superficie il limite superiore di background.

Riguardo al nichel nessun sito presenta arricchimento superficiale, né per i campioni analizzati in ICP, né per quelli analizzati in XRF. Sembra infatti esservi un impoverimento in superficie ($EF < 2$).

Il piombo presenta valori riconducibili a un arricchimento moderato nei siti 4Occhi9 e Nova7, ed altri due (SV2 e SV3) che forse presentano un arricchimento minimo. In tutti questi siti i valori superficiali sono uguali o superiori al limite superiore di background, almeno per quanto che riguarda la determinazione in XRF.

6.6. CONSIDERAZIONI RIASSUNTIVE

Come già accennato è stato necessario utilizzare i valori di background determinati per l'intera area da Zito (2007), in quanto il numero dei campioni osservati all'interno della pineta è risultato troppo esiguo per poterne determinare uno specifico solamente per tale zona. In virtù di possibili futuri campionamenti all'interno di Pineta San Vitale o comunque esclusivamente lungo il sistema dei coroni dunali, il livello superiore di background calcolabile col metodo statistico del 2σ risulterebbe maggiormente rappresentativo in quanto sarebbe meglio soddisfatto il presupposto di omogeneità pedogenetica necessario per validare il metodo di calcolo.

In figura 6.6 viene riportato un quadro riassuntivo del livello qualitativo dei siti campionati in pineta circa la presenza dei microtossici indagati. Seppur non vi siano situazioni particolarmente critiche, i siti aventi situazioni degne di nota sono il 4Occhi9, il Nova7 e l'SV1.

Nel 4Occhi9 si osserva un moderato arricchimento di Cd e di Pb ed il superamento per entrambi del limite superiore di background. Il Nova7 presenta un moderato fattore di arricchimento per il Pb, mentre l'SV1 rappresenta l'unico campione dove si supera il limite superiore di background in profondità per il Ni. In tutti e tre i siti si osservano aliquote assimilabili dei rispettivi elementi maggiori in superficie che in profondità, sia in termini di percentuale sul totale che in termini di valori assoluti.

Per tutti gli elementi i valori totali osservati sono all'interno di valori ritenuti normali anche per i suoli agricoli italiani (tabella 6.2).

La maggiore concentrazione di Pb assimilabile nei campioni superficiali (4Occhi9t) risulta, rispetto a quelle mediamente rilevate nei suoli agricoli italiani, al di sotto di valori di rischio. Le altre aliquote assimilabili superficiali sono o all'interno o inferiori ai valori normali riscontrati (tabella 6.2).

È da menzionare che all'interno di Pineta San Vitale furono analizzate, da Piazzì (1988), le aliquote assimilabili di Cd, Ni e Pb, restituendo valori sensibilmente maggiori a quelli osservati. Le maggiori aliquote ottenute sono tuttavia da ricondursi al diverso metodo di estrazione utilizzato (Lakanen ed Ervio),

ritenuto peraltro idoneo per suoli acidi e non per suoli alcalini come questi (MiPAF, 2000).

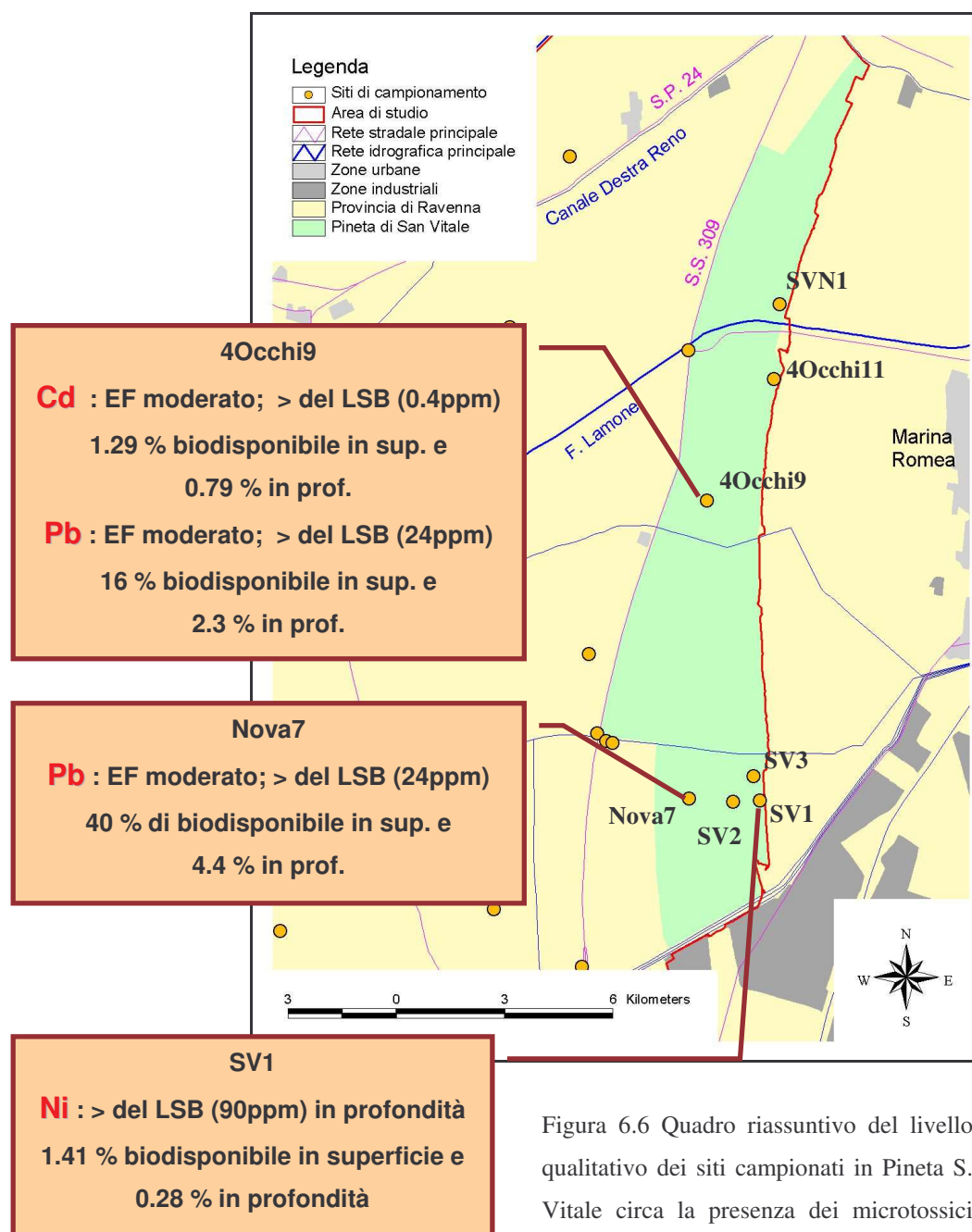


Figura 6.6 Quadro riassuntivo del livello qualitativo dei siti campionati in Pineta S. Vitale circa la presenza dei microtossici indagati.

Si osserva infine che i siti dove sono stati riscontrati arricchimenti o superamenti del limite superiore di background ricadono in suoli ricondotti a tipologia Pirottolo (cap. 4). Tali suoli sono fortemente soggetti all'influsso della falda freatica ed alle variazioni che essa può indurre riguardo alle condizioni di pH

e di potenziale redox, soprattutto negli orizzonti soggetti a temporanea saturazione. Avendo già accennato a come i parametri di pH ed Eh possano influire sulla solubilità dei microtossici si è voluto prendere in esempio il cadmio e vedere in che forma prevalente può verosimilmente trovarsi in suoli con condizioni simili.

È stato scelto il Cd poiché, tra quelli considerati, risulta essere l'elemento generalmente con maggiore mobilità nel suolo. Non possedendo dati relativi a pH ed Eh per le acque di falda dei suoli Pirottolo indagati, sono state prese le misurazioni effettuate nei profili PZ1 e PZ3 durante il monitoraggio, assumendo la presenza di condizioni simili per suoli simili.

I campi di stabilità di diversi composti del cadmio al variare del pH e del potenziale redox, sono visualizzati nel diagramma di Pourbaix in figura 6.7. In esso viene considerando un sistema di partenza formato da Cd, CO₂ disciolta, zolfo e acqua a 25 °C e 1 Atm. I punti relativi a pH ed Eh riscontrati nel PZ1 e nel PZ3 mettono in evidenza che in tali condizioni il cadmio possa prevalentemente trovarsi sottoforma di CdS precipitato e pertanto non biodisponibile. Il leggero aumento del potenziale (afflusso di acqua piovana in falda) potrebbe far prevalere la forma cationica solubile, ma un leggero aumento di pH porterebbe alla formazione di

CdCO₃ insolubile, molto comune nei suoli carbonatici. Sembrano pertanto non esserci nei suoli Pirottolo condizioni tali da presupporre un'elevata mobilizzazione di tale elemento.

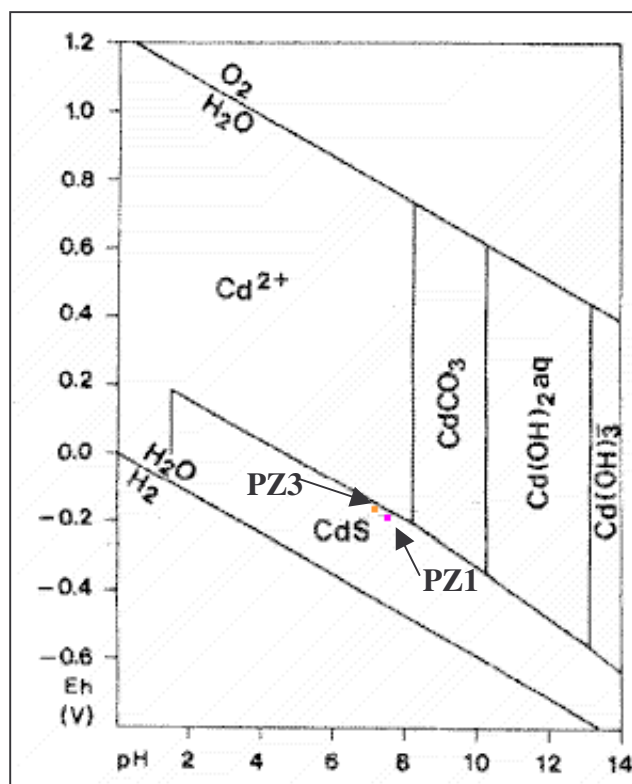


Figura 6.7. Speciazione del cadmio al variare di pH e potenziale redox, con indicati i punti delle acque di falda dei suoli dirottolo PZ1 e PZ3.

7. RELAZIONI SUOLO VEGETAZIONE

Una volta caratterizzata l'influenza che il livello della falda freatica e le sue caratteristiche legate alla salinità, hanno sulle proprietà chimico-fisiche del suolo si è cercato di analizzare, le relazioni esistenti tra il suolo e la vegetazione presente nei siti studiati in particolar modo in Pineta San Vitale. Si è pertanto studiato in che modo i caratteri qualitativi del suolo influenzano la presenza di particolari specie di piante e non di altre, andandone a condizionare le coperture vegetazionali.

Per individuare queste relazioni sono stati utilizzati sia i dati cartografici e analitici prodotti dalla caratterizzazione pedologica, sia i dati ottenuti a seguito del monitoraggio sui profili PZ (cap. 5).

7.1. RELAZIONE SUOLO-VEGETAZIONE DALLA CARTOGRAFIA PEDOLOGICA

In primo luogo si è cercato di analizzare la relazione esistente tra i tre pedotipi cartografati (San Vitale, Cerba, Pirottolo) per le zone di San Vitale e Bellocchio e la vegetazione presente su di essi. Per tale analisi spaziale si sono sovrapposte le cartografie pedologiche prodotte per le due zone con le rispettive cartografie della vegetazione.

Si è pertanto potuto osservare in che numero ed estensione i diversi tipi vegetazionali ricadono sui tre pedotipi considerati e sulle zone a falda affiorante.

È bene osservare che tale sovrapposizione non va a restituire per ogni suolo, nei medesimi rapporti di numero e superficie, i tipi vegetazionali che in sede di indagine ambientale sono stati ricondotti ai tre pedotipi. Non si devono dimenticare infatti le sostanziali correzioni svolte sulle Unità di Paesaggio inizialmente definite (par. 3.1 e 3.2) sino all'elaborazione della Carta dei Suoli.

7.1.1. Biodiversità vegetazionale sui pedotipi di San Vitale e Bellocchio

Una volta ottenuta la distribuzione dei tipi vegetazionali sui suoli San Vitale, Cerba e Pirottolo di Pineta San Vitale e della Bellocchio si è stata analizzata la loro abbondanza ed estensione spaziale sui tre pedotipi.

Per l'espressione di tali aspetti caratterizzanti si è utilizzato l'Indice di Shannon Wiener, un indice spesso utilizzato in campo ecologico per quantificare il livello di diversità dei dati disponibili relativi ad una certa popolazione o area di studio. Nel nostro caso si è applicato per quantificare la diversità (o biodiversità) vegetazionale sui tre pedotipi e sulla falda affiorante e può essere espresso nei seguente termini:

$$H = - \sum_{K=1}^n (P_k) \log_2 (P_k) \quad (1)$$

dove:

H: indice di Shannon Wiener

P_k : area relativa del tipo vegetazionale k-esimo rispetto all'area totale studiata

n: numero totale dei tipi vegetazionali presenti nell'area

Nel caso in cui i tipi vegetazionali abbiano tutti la medesima area, l'indice H raggiunge il suo valore massimo per un certo numero n, ovvero H_{\max} e l'equazione (1) può essere semplificata a:

$$H_{\max} = \log_2 (n)$$

Inoltre si definisce come indice di equiripartizione J il rapporto tra H e H_{\max} , uguale a 1 nel caso vi sia l'equiripartizione perfetta dei tipi vegetazionali.

Studi pregressi sulla biodiversità vegetazionale di zone boscate del Parco del Delta del Po (Corticelli et al., 2002) attribuiscono un indice di diversità H del Parco abbastanza elevato, pari a 3.40. Le stazioni delle zone boscate in esso presenti quali Pineta di San Vitale, Pineta di Classe e Ponte Alberete presentano un valori di H pari rispettivamente a 2.21, 2.31 e 2.43. I valori in questo caso sono minori in quanto le singole stazioni, avendo minore area, presentano un numero di tipi più ridotto.

7.1.2. Risultati e discussioni

La distribuzione, in ettari, dei tipi vegetazionali su suoli e su falda affiorante nel sito di Pineta San Vitale e nell'area di Bellocchio all'interno delle delineazioni n. 18 e 200 è mostrata in figura 7.1. In figura 7.2 la distribuzione dei medesimi tipi è invece mostrata in termini di area percentuale sempre su suoli e falda affiorante.

Contrariamente a quanto svolto da Corticelli et al. (2002), per il calcolo della diversità, sono stati considerati elementi a se stanti anche le aree indicate nella cartografia con due tipi vegetazionali (uno predominante e l'altro secondario), per tale motivo i valori di diversità risultano mediamente più alti.

Per Pineta San Vitale si osserva che sui suoli Cerba insiste il maggior numero di tipi vegetazionali, ma il maggior valore di diversità vegetazionale si ha sui suoli Pirottolo. Sui suoli Cerba infatti si ha sostanzialmente la preponderanza dei tipi QpBa e PsBa (figure 7.1 e 7.2), ovvero di bosco a *Quercus robur* e *Q. pubescens* o di prati submediterranei (sintaxon: *Brometalia erecti*), entrabi consociati con boschi di conifere adulte (*Pinus pinea*, *P. pinaster*).

Gli altri tipi occupano uno spazio ridotto e spazialmente distribuito ai margini con gli altri due pedotipi in particolar modo con i suoli Pirottolo. In questi ultimi l'elevato indice di equiripartizione è probabilmente da ricondurre alla possibilità di sviluppo di ambienti vegetazionali molto diversi fra loro, dove nessuno prende il sopravvento sull'altro poiché la distribuzione spaziale di tutti è vincolata alle condizioni di alcuni parametri molto variabili in questi pedotipi, primo fra tutti la salinità, ancor più del livello di falda. I principali tipi vegetazionali dei Pirottolo sono Aq (sintaxon: *Alnetalia glutinosae*) e Pr (sintaxon: *Phragmitetum vulgaris*) legati ad ambienti non salini, mentre Im (sintaxon: *Juncetalia maritimi*) ed Mp (sintaxon: *Scirpetalia compacti*) sono riconducibili a suoli ed acque saline. Nei Pirottolo di Pineta S. Vitale la superficie sulla quale insistono tipi riconducibili ad ambienti salmastri o salini è circa del 30%.

Per il medesimo motivo dei suoli Pirottolo, un'elevata diversità si riscontra anche nelle zone a falda affiorante, mentre sui suoli San Vitale si ha la predominanza solamente del tipo PsBa.

Tabella 7.1. Indice di diversità di Shannon-Wiener e parametri correlati relativi ai tipi vegetazionali presenti su suoli e falda affiorante di Pineta San Vitale.

Coperture	n	H	H max	J
Falda affiorante	26	3.164	4.700	0.673
Pirottolo	28	3.851	4.807	0.801
Cerba	31	2.393	4.954	0.483
San Vitale	12	2.024	3.585	0.565

n : numero di tipi vegetazionali.

Nell'area di Bellocchio ricadente nella delineazione n. 18 (RER, 1999), si osservano indici di diversità più bassi rispetto Pineta S. Vitale, ma anche qui il maggior numero di tipi è sui Cerba e la maggior diversità vegetazionale è sui Pirottolo (tabella 7.2). Le differenze tra i due valori di H sono comunque minori ed anche sui Cerba si ha un discreto indice di equiripartizione. Probabilmente riconducibile alla minor influenza di fattori vincolanti come la salinità.

Nei suoli Cerba il tipo principalmente presente è il QpBa, seguito dal Ps.

Nei Pirottolo i tipi più diffusi sono Br (*Brometalia erecti*) e Ho (praterie di ciperacee e graminacee), mentre l'area occupata da tipi riconducibili ad ambienti salini è solo del 18%.

Sui suoli S. Vitale il basso valore di diversità è determinato dalla marcata predominanza del tipo QpBa (figura 7.1 e 7.2).

Tabella 7.2. Indice di diversità di Shannon-Wiener e parametri correlati relativi ai tipi vegetazionali presenti su suoli e falda affiorante dell'area di Bellocchio in delineazione n. 18.

Coperture	n	H	H max	J
Falda affiorante	5	1.333	2.322	0.574
Pirottolo	16	3.098	4.000	0.774
Cerba	19	2.946	4.248	0.693
San Vitale	10	1.700	3.322	0.512

n : numero dei tipi vegetazionali.

Anche nell'area di Bellocchio ricadente nella delineazione n. 200, si osserva il maggior numero di tipi vegetazionali nei suoli Cerba, ma il maggior livello di diversità si ha nei Pirottolo (tabella 7.3).

Nei Cerba i tipi più presenti sono Qp, Ba e Ps, molto spesso in consociazione.

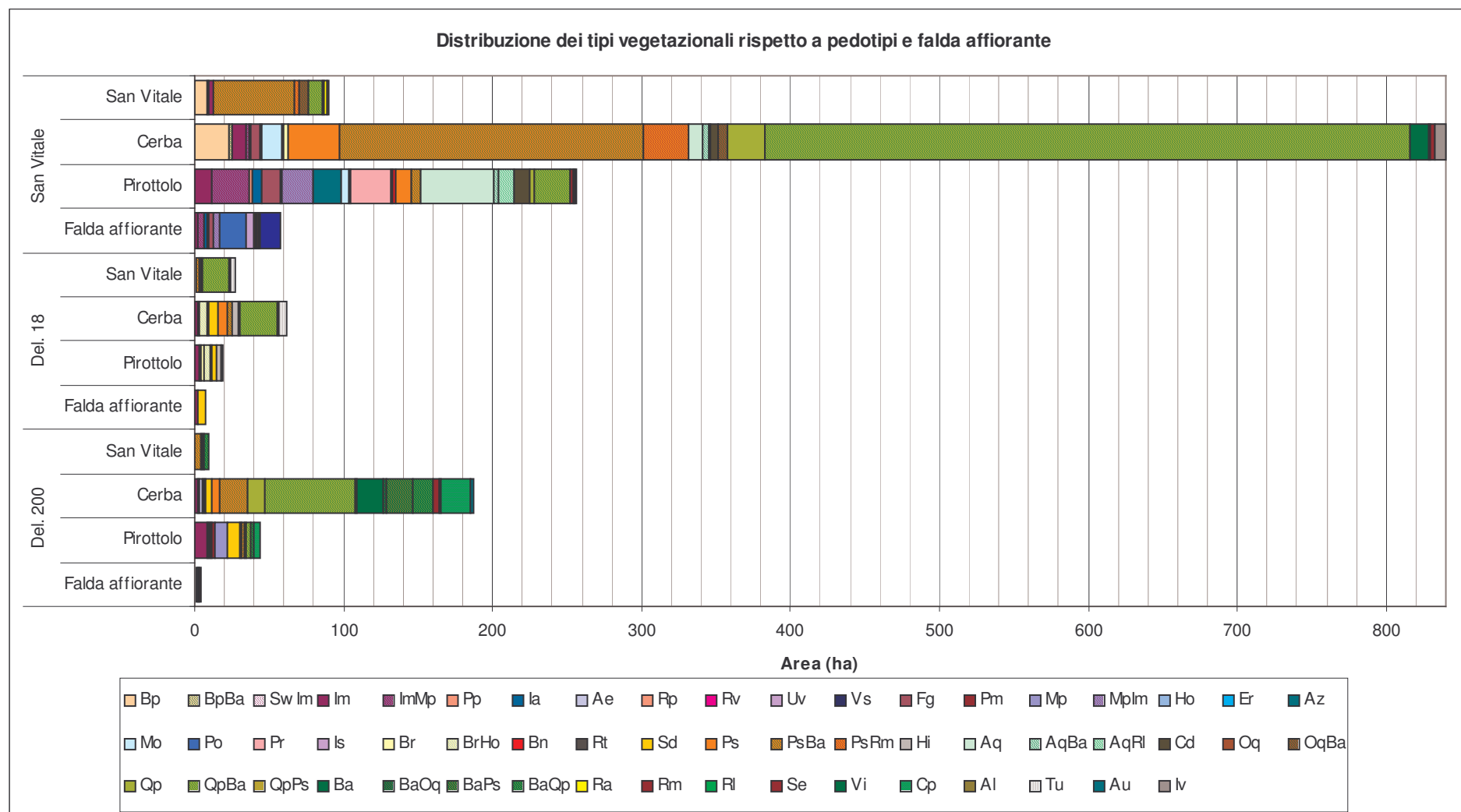


Figura 7.1. Distribuzione dei tipi vegetazionali su pedotipi e falda affiorante presenti in Pineta S. Vitale e nelle delieazioni dell'area di Bellocchio.

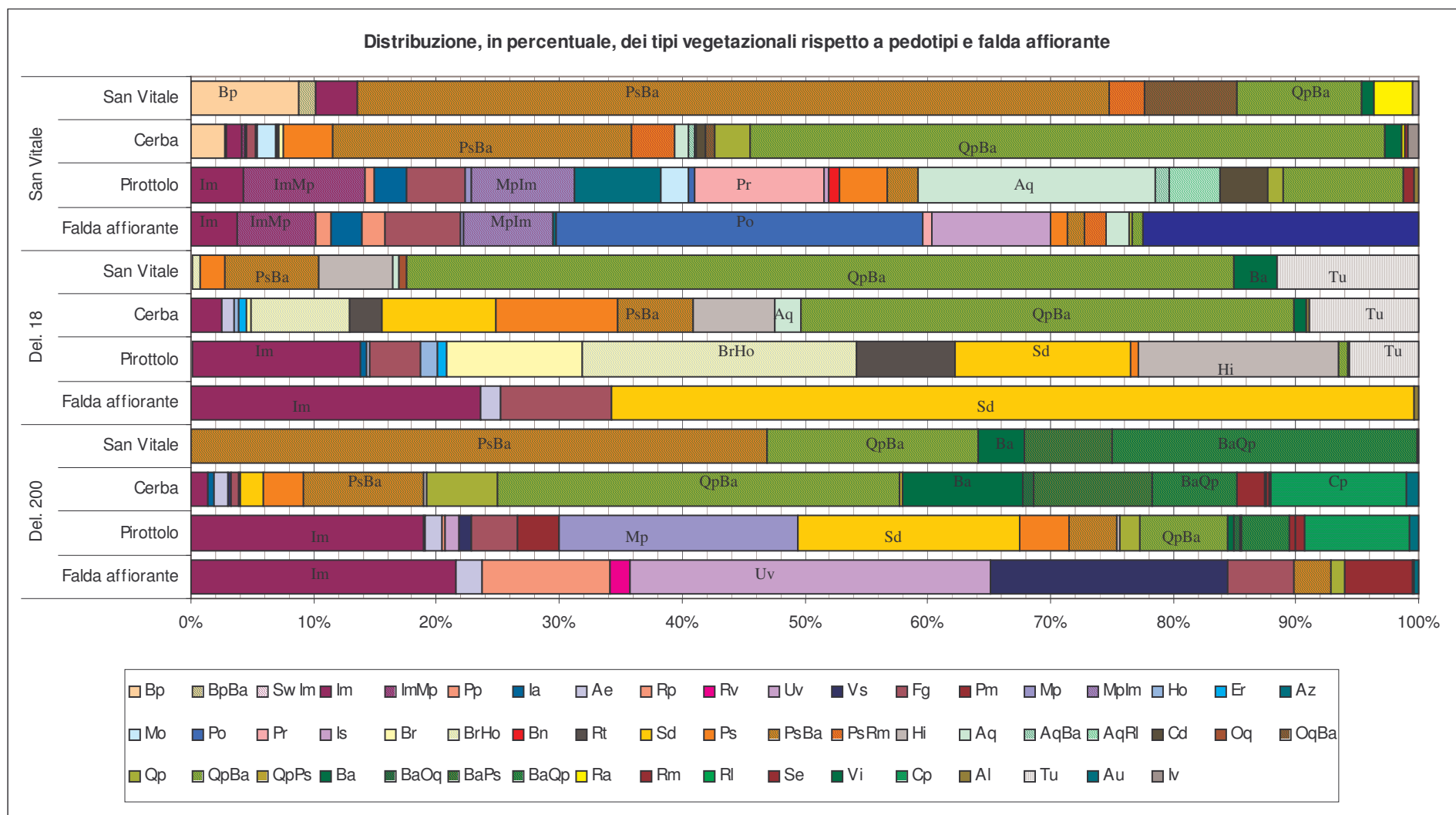


Figura 7.2. Distribuzione in percentuale dei tipi vegetazionali su pedotipi e falda affiorante presenti in Pineta S. Vitale e nelle delineazioni dell'area di Bellocchio

Benché i livelli di salinità nelle acque di falda dei profili presentino valori mediamente di molto inferiori rispetto a San Vitale, nei Pirottolo la porzione di tipi riconducibili ad ambienti salini (Im, Mp, Fg, Pm, Uv) copre quasi il 46% (figura 7.2). Considerando che questa equivale ad un'estensione di circa 20 ha risulta comunque molto inferiore alla corrispettiva "area salina" dei Pirottolo di Pineta S. Vitale (78 ha).

Nei Pirottolo e Cerba dell'area di Bellocchio sono presenti anche zone di vegetazione post colturale (Sd) e pioppeti colturali (Cp).

Tabella 7.3. Indice di diversità di Shannon-Wiener e parametri correlati relativi ai tipi vegetazionali presenti su suoli e falda affiorante dell'area di Bellocchio in delineazione n. 200.

Coperture	n	H	H max	J
Falda affiorante	13	2.730	3.700	0.738
Pirottolo	25	3.441	4.644	0.741
Cerba	26	3.253	4.700	0.692
San Vitale	8	1.911	3.000	0.637

n : numero dei tipi vegetazionali.

7.1.3. Distribuzione dei pini sui suoli di Pineta San Vitale

Un ulteriore utilizzo della Carta dei Suoli allo scopo di estrapolare informazioni relative ai rapporti esistenti tra suolo e vegetazione delle pinete, è stata la ricerca del grado di distribuzione dei pini della Pineta di San Vitale sui tre pedotipi.

Per fare questo si è sovrapposto, mediante overlay, la Carta dei Suoli con un livello informativo rappresentante tutti i pini osservati da Diani e Ferrari (2006) mediante telerilevamento da immagini Quick Bird 2003.

Il numero di pini (*P. pinea* e *P. pinaster*) totali conteggiati in tale tematismo è pari a 21345.

Il risultato di tale sovrapposizione è mostrato in tabella 7.4 ed in figura 7.3.

Si può notare che il maggior numero di pini è situato sui suoli Cerba (70.4%), ma sui suoli San Vitale la densità è di 3.5 superiore. Assai ridotto è il numero di pini sui suoli Pirottolo. Considerando che le condizioni ottimali di crescita sia del *P. pinea* che del *P. pinaster* sono l'assenza di acqua a contatto con le radici ed un

suolo ben aerato non condizionato dalle oscillazioni di falda, si evince che tale distribuzione non rappresenta quella potenziale. Considerando che l'età di molti pini adulti sui suoli Cerba, è in alcuni casi secolare o comunque di parecchi decenni, è probabile che all'epoca di tali piantumazioni il livello del p.c. fosse al netto di buona parte della subsidenza avvenuta negli ultimi cento anni. E che quindi l'ampiezza della zona vadosa fosse sensibilmente maggiore e più adatta a garantire buone condizioni di sviluppo della pianta. Non a caso si osserva che la gran parte dei pini più giovani è sui suoli San Vitale.

Tabella 7.4. Distribuzione e densità dei pini su suoli e falda affiorante di Pineta San Vitale.

Coperture	Area (ha)	N. pini	N. pini (%)	Densità (Pini/ha)
Falda affiorante	52.06	1	0.0	0.0
Pirottolo	260.60	781	3.7	3.0
Cerba	881.89	15027	70.4	17.0
S. Vitale	91.95	5536	25.9	60.2

Da tale distribuzione si osserva pertanto che oltre il 70 % dei pini osservati da telerilevamento si trova in condizioni non ottimali per la propria sopravvivenza e che verosimilmente è soggetto a fenomeni di deperimento e sofferenza più o meno marcati in funzione delle condizioni critiche presenti nei suoli (condizioni asfittiche, elevato potenziale osmotico per presenza di falda salina ecc.).

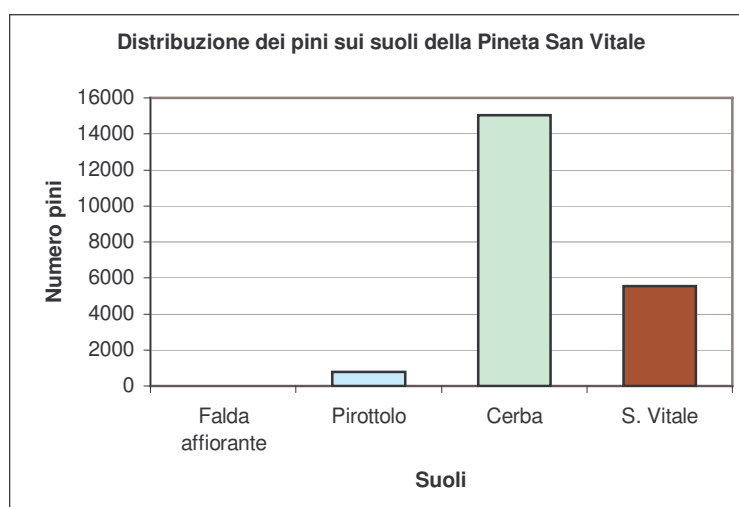


Figura 7.3. Distribuzione dei pini su suoli e falda affiorante di Pineta San Vitale.

7.2. RELAZIONE TRA PROFONDITÀ FALDA, SALINITÀ SUOLO E VEGETAZIONE

Sulla base delle osservazioni delle specie vegetali presenti nelle stazioni di apertura dei profili pedologici, sono stati studiati i rapporti esistenti tra la CE ps del suolo, la profondità della falda freatica al momento del campionamento e la vegetazione presente.

Per determinare la salinità dei suoli campionati si è partito dai valori di CE ps determinati negli orizzonti dei profili in sede di caratterizzazione pedologica (cap. 4). Sulla base dei lavori eseguiti da Padula (1968), Mollema et al. (2005) Giambastiani (2006) si è assunto che la porzione utile di suolo interessata dalle radici delle piante atte all'assorbimento degli elementi nutritivi sia mediamente compresa entro 1 m di profondità dal p.c. in assenza di falda freatica. Mentre per i profili con presenza di falda entro 1 m da p.c. si è considerato uno strato utile sino al primo orizzonte saturo. Per i profili con assenza di falda entro 1 m dal p.c. la CE ps media è stata determinata dal calcolo medio ponderato dei valori di CE ps relativi agli orizzonti compresi almeno in parte entro tale profondità. Per i profili con presenza di falda entro 1 m la media è stata eseguita su tutti gli orizzonti del profilo purché al di sopra di 1 m, assumendo, sulla base dei risultati osservati nel monitoraggio (cap. 5), una CE ps nelle porzioni degli orizzonti saturi uguale alla CE della falda freatica alla base dei profili stessi.

I valori di CE ps dei profili sono stati messi in relazione con le rispettive profondità di falda e con le principali specie vegetali osservate in campo, tramite visualizzazione grafica.

Considerando gli innumerevoli altri fattori ambientali che determinano la presenza e lo sviluppo delle varie specie vegetali in tali ambienti, tale studio serve a dare un'indicazione solamente di massima circa la presenza delle specie vegetali osservate nei diversi ambienti pedologici riscontrati.

Allo stesso modo si è voluto visualizzare nelle medesime modalità, i dati di CE ps media sul profilo e di profondità di falda dal p.c. ottenuti dal monitoraggio dei 4 profili (cap. 5). In questo modo è stato possibile osservare in che misura le specie

vegetali che insistono sui 4 siti sono sottoposte al variare di questi due parametri durante l'anno.

7.2.1. Risultati ottenuti dai dati della caratterizzazione pedologica

In figura 7.4 sono riassunti i rapporti riscontrati tra salinità dei suoli, profondità di falda e vegetazione.

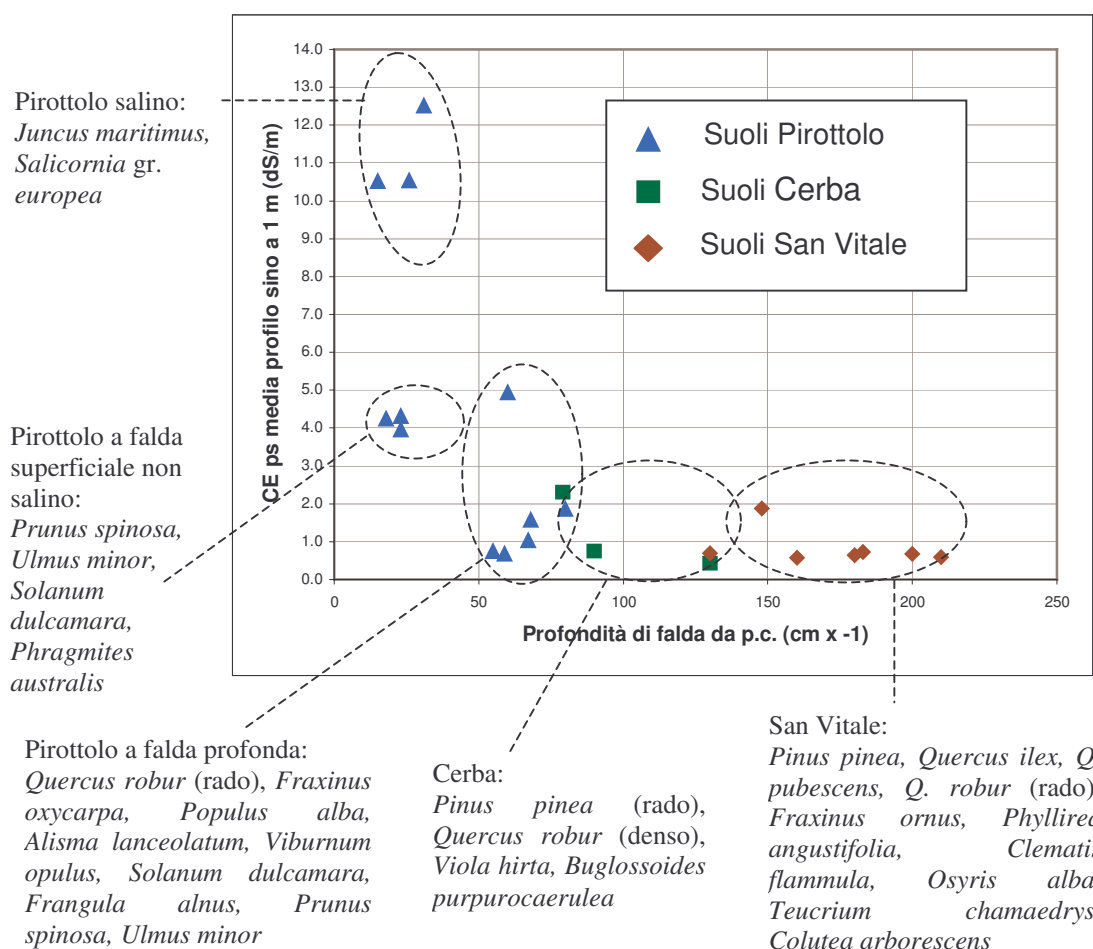


Figura 7.4. Rapporto tra salinità suoli, profondità di falda e vegetazione, riscontrati dai rilievi in Pineta San Vitale (Buscaroli et al., 2007).

Sui suoli San Vitale sono maggiormente presenti tipi di vegetazione xerotermofili, in cui *Pinus pinea* sembra trovare le migliori condizioni di vita. Si osservano comunità a *Quercus pubescens* e *Quercus robur*, con *Quercus ilex*, *Fraxinus ornus*, *Clematis flammula*, *Osyris alba*, *Phyllirea angustifolia*, *Colutea*

arborescens e *Teucrium chamaedrys*. E' da sottolineare che *Quercus robur*, pur essendo costantemente presente, non presenta mai densità molto elevate. Sono inoltre diffuse comunità arbustive che, in alcuni casi rappresentano situazioni preforestali o aspetti di degradazione del bosco. Nei suoli Cerba, si passa, col diminuire del franco di coltivazione, da una elevata copertura a *Quercus robur* ad un progressivo incremento delle specie legate ai boschi igrofili che trovano la loro massima espressione nei Pirottolo a falda più profonda. Le principali specie arboree qui osservate sono *Populus alba*, *Fraxinus oxycarpa* e *Ulmus minor*. A livello arbustivo ed erbaceo tale gradiente si osserva passando dalla presenza di alcune specie indicatrici quali *Viola hirta* e *Buglossoides purpureocaerulea*, alla comparsa di *Alisma lanceolatum* e *Viburnum opulus*, nelle zone a maggiore copertura arborea. Nelle zone a minore copertura arborea, tale gradiente si manifesta con la comparsa di *Solanum dulcamara*, *Frangula alnus* e *Prunus spinosa*. Aspetti di degrado sono pure frequenti e sono evidenziati da forti invasioni di *Rubus* gr. *ulmifolius*. La copertura di *Pinus pinea* si fa gradualmente più sporadica fino a scomparire, con individui deperienti o sradicati. Sui suoli Pirottolo a falda più superficiale le comunità sono determinate prevalentemente dal grado di saturazione idrica del suolo e dal contenuto di sali.

Riprendendo il giudizio qualitativo di Sbaragli e Lucci (1994), la CE ps media può dirsi: molto alta per i 3 profili rappresentanti i Pirottolo salini, alta per 2 profili Pirottolo a falda più superficiale ed 1 a falda più profonda, leggermente alta per 1 Pirottolo a falda superficiale ed un Cerba, normale per tutti gli altri 14 profili.

7.2.2. Risultati ottenuti dai dati del monitoraggio

Nel grafico di figura 7.5 sono visualizzati i rapporti tra la CE ps media dei profili del monitoraggio e la loro profondità di falda. I dati relativi agli 11 mesi di monitoraggio mettono in evidenza come oltre alle variazioni della profondità di falda, anche le variazioni di CE ps media lungo i profili siano state altrettanto elevate.

Descrivendoli singolarmente si osserva come il PZ3 mostri la variazione di CE ps media più vistosa. Partendo da un valore molto alto al momento del primo rilievo in febbraio, diminuisce sino ad un valore leggermente alto in aprile per poi

risalire a più riprese durante l'estate e l'autunno sino ad un valore estremamente alto in ottobre, segue poi una ridiscesa sino a valori alti in dicembre. Il valore più alto è di oltre 6 volte superiore a quello più basso. Il PZ1 presenta valori iniziali leggermente alti che discendono a livelli leggermente inferiori sino a maggio per poi risalire nel corso dell'estate a valori alti che raggiungono il massimo in settembre. Nei seguenti mesi autunnali la CE ps media tende a ritornare verso i valori leggermente alti di inizio monitoraggio.

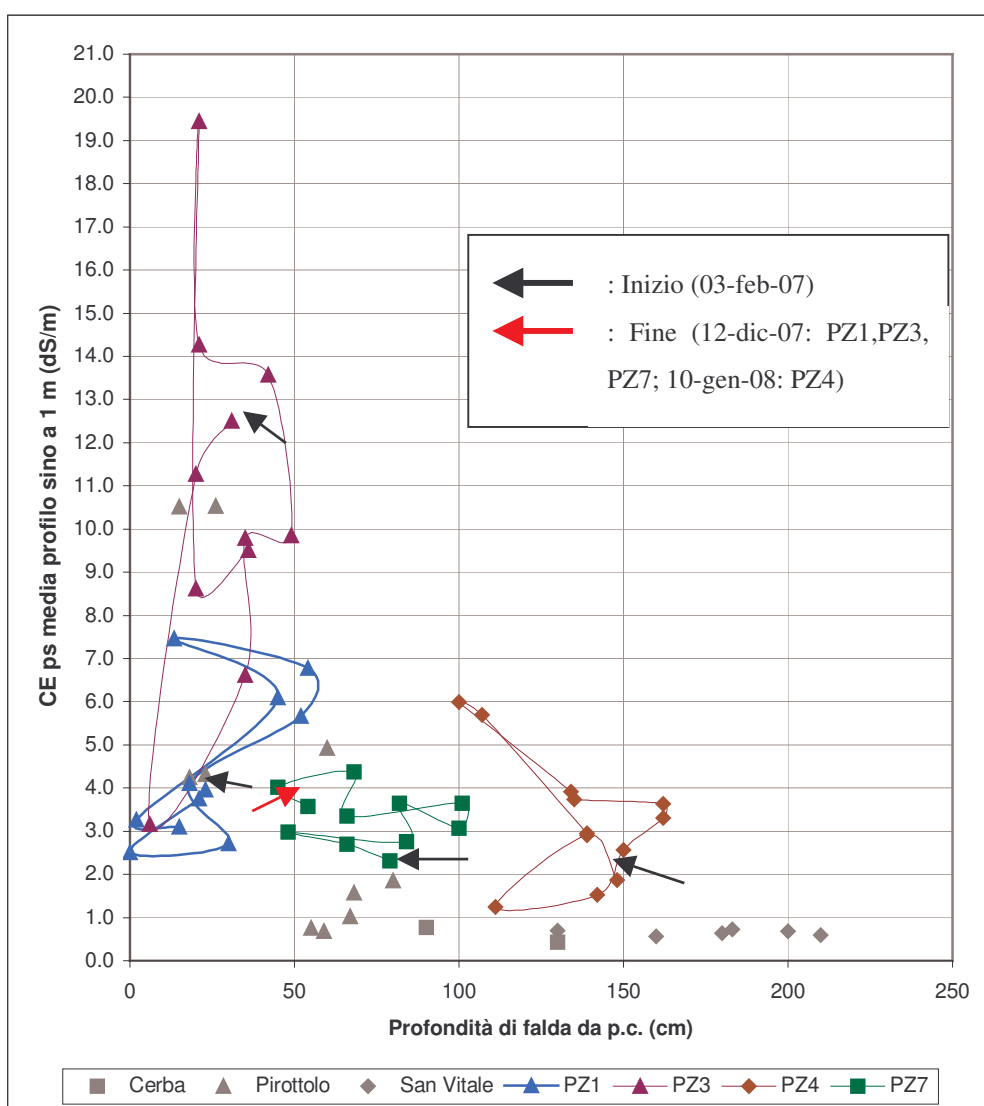


Figura 7.5. Andamento della profondità di falda e della CE ps media sul profilo, nei rilievi del monitoraggio (febbraio – dicembre – 2007), in grigio sono indicati i rilievi della caratterizzazione pedologica.

Nel PZ4 si assiste ad un iniziale aumento da valori normali a leggermente alti della CE ps media in marzo. Nel mese successivo l'effetto delle forti precipitazioni porta nuovamente il profilo a livelli normali. Inizia successivamente un aumento della CE che raggiunge valori alti in novembre, dicembre per poi ridiscendere in gennaio a valori leggermente alti. Il PZ7 presenta le minori variazioni in termini di CE ps che, con l'eccezione di ottobre e novembre (valori alti), si aggirano su valori leggermente alti.

Da questi andamenti si possono fare alcune considerazioni:

- nei profili pirottolo (PZ1 e PZ3), i massimi di CE non si hanno propriamente in estate, bensì in autunno, quando al seguito delle maggiori precipitazioni i sali accumulatisi nel primo orizzonte vengono dilavati portando ad un innalzamento complessivo della CE in tutti gli orizzonti sottostanti.
- Nel PZ4 l'aumento delle precipitazioni influenza sensibilmente l'innalzamento della falda ed in minima parte la diminuzione della CE. Questo spiega perché nei mesi autunnali si raggiungono i valori di CE ps media maggiori.

7.2.3. Confronto dei risultati in relazione alle esigenze di alcune specie vegetali

Riprendendo il grafico di figura 7.5, vengono ora messi a confronto i risultati relativi agli andamenti della profondità di falda e della CE ps media sui profili (sino a 1 m di profondità) con le esigenze di alcune specie vegetali, presenti in Pineta San Vitale in funzione dei due parametri considerati.

Un quadro generale sulla tolleranza alla salinità di alcune specie forestali viene fornito da Blaylock (1994) del quale si riportano in tabella 7.5 i valori relativi ai range di tolleranza alla salinità definiti in funzione della perdita di biomassa prodotta dalle piante.

Dalla tabella si osserva che il pino in generale venga indicato come una specie moderatamente tollerante la salinità.

Tabella 7.5. Livelli di salinità del suolo e classi di tolleranza salina sul potenziale di produzione di alcune specie, da Blaylock (1994) modificato.

Classi di tolleranza salina	Generi e specie presenti nelle pinete	Perdita prevista di crescita o produzione (%)			
		0	25	50	100
		Salinità del suolo (CE ps*, dS/m)			
Sensibili	<i>Prunus, Viola e Rubus</i>	< 1.3	1.4 - 2.7	2.6 - 4.2	> 8.0
Moderatamente sensibili	Pioppo, salice, olmo, frassino, ligustro	< 3.0	2.7 - 6.3	4.2 - 9.5	> 16.0
Moderatamente tolleranti	Pino, Ginepro	< 6.0	6.3 - 10.5	9.5 - 15.0	> 24.0
Tolleranti	Tamerice, <i>Asparagus</i> , piante grasse alofile	< 10.0	10.5 - 15.5	15.0 - 21.0	> 32.0

* : Conduttività elettrica dell'estratto in pasta satura

Più in specifico studi condotti da Barbolani et al. (1997) su piantine di *Pinus pinea* irrigate con acqua all'1.3% e allo 0.65% di salinità (22.3 dS/m e 11.7 dS/m), hanno evidenziato al termine della stagione vegetativa una mortalità rispettivamente del 98% e del 56% (figura 7.6). Gli effetti della salinità sono maggiormente evidenti nella germinazione. Ganatsas e Tsakalimi (2007) riportano come la germinazione sia già totalmente inibita in semi sottoposti ad irrigazione con soluzioni di 0.05M di NaCl (5.6 dS/m).

Benché la pianta adulta di *P. pinea* possa dirsi moderatamente tollerante la salinità, questi risultati confermano quanto affermato da altri autori che indicano in 8 – 10 dS/m la soglia del livello di salinità dell'acqua di falda, oltre la quale le piante in grado di riprodursi sono da considerarsi alofite (Aronson, 1985).

Benché evidenti siano le morie di pini a seguito della marcescenza delle radici a contatto con la falda troppo superficiale, come osservato da Padula (1968), viene comunque fatto notare da Teobaldelli et al. (2004), come l'aumento della salinità dell'acqua di falda, unita alla siccità del suolo in estate, porta ad una forte diminuzione del flusso xilematico nel *P. pinea*.

A riguardo del *Pinus pinaster* studi condotti da Saur et al. (1995), mettono in evidenza come individui della medesima specie sviluppatasi in ambienti diversi possiedano una diversa resistenza alla salinità. Con irrigazione di acqua a 6.2 dS/m si osservano perdite di produzione di biomassa dal 15 al 22%, mentre a 14.5 dS/m si assiste ad una perdita di biomassa dal 42 al 65% (figura 7.6). Pertanto il *P. pinaster* si dimostra mediamente più tollerante alla salinità rispetto al *P. pinea*.

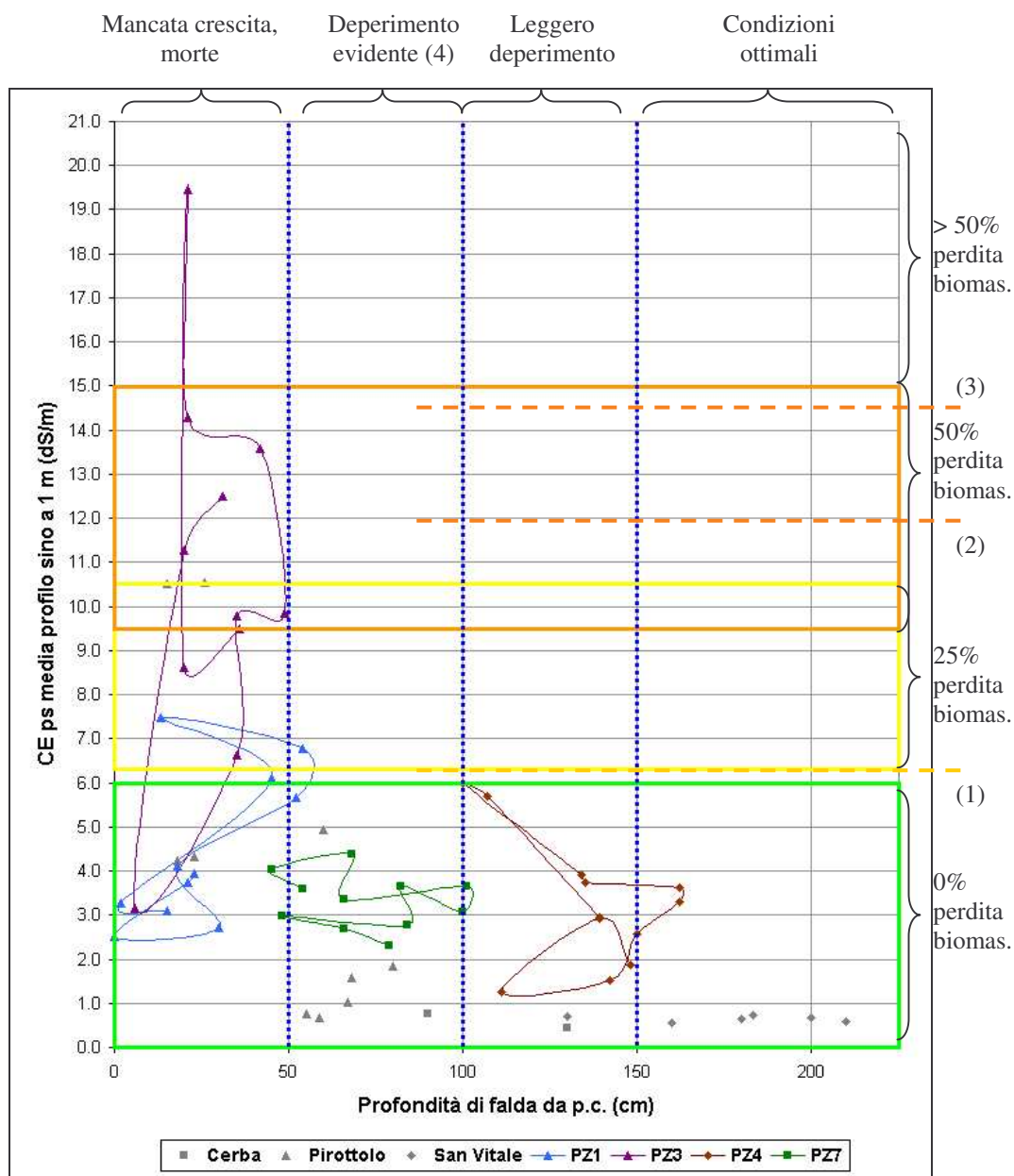


Figura 7.6. Andamento della profondità di falda e della CE ps media sul profilo, nei rilievi del monitoraggio, in relazione delle esigenze di pino e ginepro. 1: perdite in biomassa prodotta da 15 a 22% nel *P. pinaster* (Saur et al., 1995). 2: 56% di piantine di *P. pinea* morte (Barbolani et al., 1997). 3: perdite di biomassa da 42 a 65% nel *P. pinaster* (Saur et al., 1995). 4: Padula, 1968.

In figura 7.6 si osserva come la CE ps media del profilo PZ4 sul primo metro di profondità oscilla all'interno di valori in cui il pino non presenta particolari problemi, salvo forse durante l'autunno. La presenza di pini radi potrebbe essere invece dovuta al fatto che la profondità della falda sia solamente per due mesi dell'anno superiore a 150 cm dal p.c. e che pertanto si verrebbero a determinare

stati di leggero deperimento. Nel profilo PZ7 le evidenti problematiche di deperimento osservate in sito sembrano essenzialmente dovute alla ridotta zona vadosa che nei mesi più piovosi è inferiore a 50 cm di spessore. In tale contesto il pino riesce a svilupparsi abbastanza bene fintanto che la radice fittonante non incontra la falda dopo di che inizia il deperimento che in alcuni casi può portare alla morte della pianta già attorno ai 20 anni di età (Padula, 1968).

La non presenza di pini nei profili PZ1 e PZ3 è in primo luogo legata alle condizioni proibitive connesse all'ambiente asfittico e riducente già a pochi decimetri sotto il p.c., in secondo luogo, soprattutto per il PZ3, ulteriore causa avversa è legata al livello di salinità che ne compromette lo sviluppo per la maggior parte dell'anno (figura 7.6).

Il figura 7.7 viene invece l'andamento di CE ps e della falda è messo in relazione ad alcune piante forestali moderatamente sensibili alla salinità secondo Blaylock (1994) (tabella 7.5). Le specie forestali ad esse riconducibili sono *Populus alba*, *Fraxinus oxycarpa* e *Ulmus minor*, per quanto riguarda il bosco idrofilo tipico delle bassure, mentre i generi *Ligustrum* e *Clematis* sono riconducibili a specie presenti nel sottobosco di Pineta San Vitale (figura 7.7) in ambiente di piana interdunale e sommità dunale.

Benché i range salinità relativi alle percentuali di perdita di biomassa prodotta siano molto variabili (figura 7.7 e tabella 7.5), si osserva, nel profilo PZ4 che il livello di CE ps potrebbe portare per i generi *Ligustrum* e *Clematis* a limitazioni di crescita variabili ma comunque significative nei mesi estivi e autunnali. Per alcune specie di *Clematis* osservate in sito anche la vicinanza della falda al p.c. potrebbe generare condizioni non ottimali per il loro sviluppo.

Nel PZ7 le condizioni di CE ps potrebbero non sempre essere ottimali per specie quali *Fraxinus oxycarpa* e *Ulmus minor*. Per il pioppo invece, la cui presenza è riconducibile a suoli che presentano livelli di falda quali quelli del PZ1 e PZ3, i livelli di CE ps raggiunti da quest'ultimo profilo sarebbero sicuramente non ottimali per un suo regolare sviluppo (figura 7.7). La presenza di *Populus alba* in effetti non viene osservata, anche se i livelli di salinità siano molto variabili e valori di CE ps comportanti una perdita quasi totale del suo sviluppo sul lungo periodo, si osservino solo per pochi mesi l'anno.

Relativamente a tale specie, studi condotti da Sixto et al. (2006) su cloni di *Populus alba*, evidenziano come a 7 dS/m il 30% delle piante dei cloni più sensibili mostrino sintomi di deperimento sulle foglie, mentre a 14 dS/m i sintomi di siano presenti sul 90% delle piante.

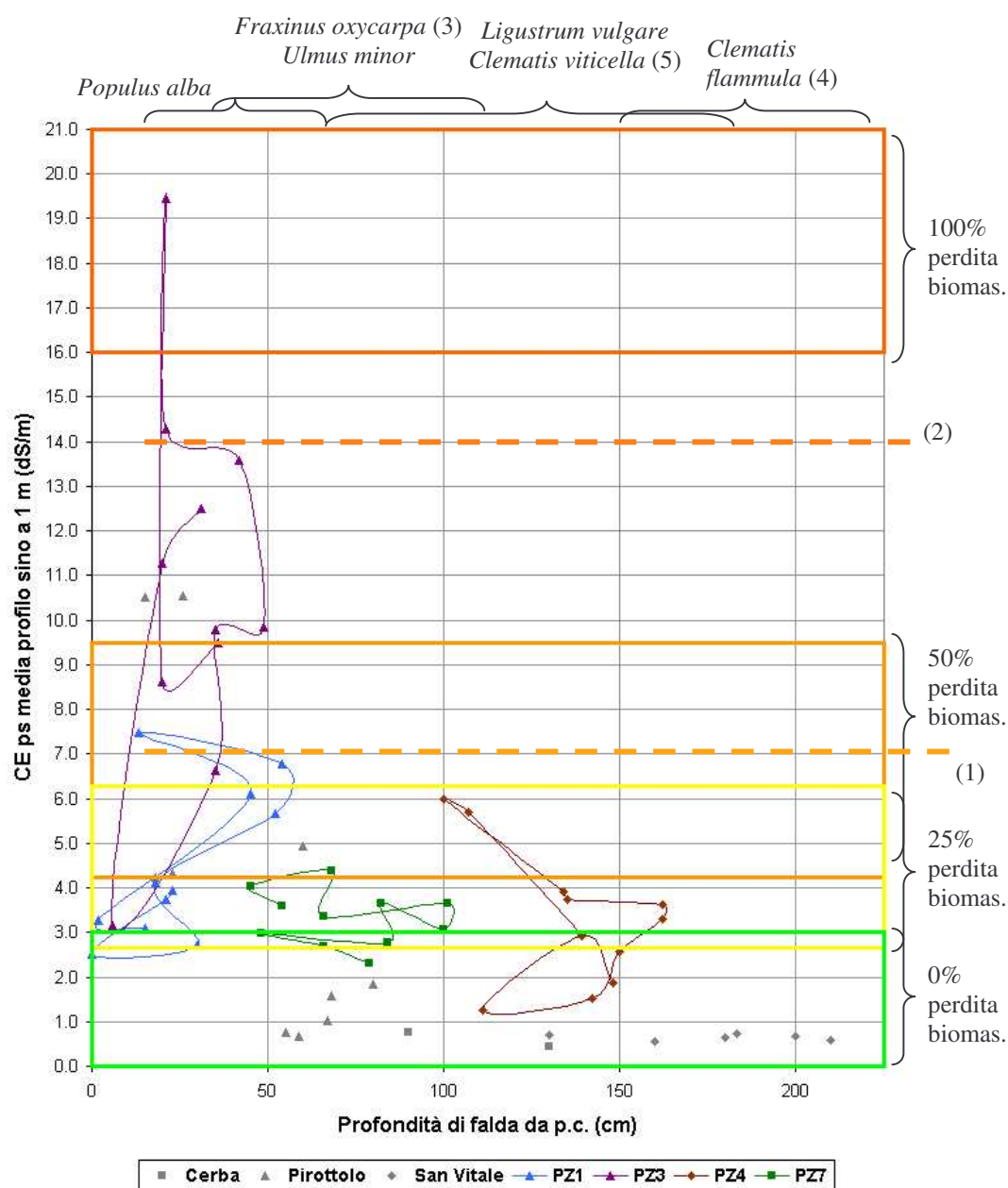


Figura 7.7. Andamento della profondità di falda e della CE ps media sul profilo, nei rilievi del monitoraggio, in relazione delle esigenze di *Populus alba*, *Fraxinus oxycarpa*, *Ulmus minor*, *Ligustrum vulgare* e *Clematis flammula*. 1: circa il 30% delle piante dei cloni più sensibili di *P. alba* hanno sintomi sulle foglie (Sixto et al., 2006). 2: circa il 90% delle piante dei cloni più sensibili di *P. alba* hanno sintomi sulle foglie (Sixto et al., 2006). 3: da osservazioni su campo e da Idroser (1985). 4: da osservazioni di Buscaroli et al. (2007). 5: Piccoli et al. (1999a).

Benché le condizioni di CE ps siano inferiori il pioppo non risulta presente neanche nel PZ1.

In figura 7.8 agli andamenti CE ps e di profondità di falda sono associate le perdite di biomassa prodotta riscontrate su *Quercus robur* da Alaoui-Sossé et al. (1998) a seguito di irrigazioni con acque aventi concentrazioni di NaCl riconducibili a valori di CE rispettivamente di 2.35 dS/m (figura 7.8, punto 1) e 4.6 dS/m (figura 7.8 punto 2). Il sito del profilo PZ7 presenta condizioni di profondità di falda ottimali per la crescita di tale specie, anche se i valori di CE ps possono portare a perdita di produzione di biomassa in misura variabile (figura 7.8). Sia nel PZ7 che nel PZ4 la presenza di querce è tuttavia rappresentata dal *Quercus pubescens*. Nel profilo PZ1 e nel PZ3 è invece stata osservata tale specie. Benché le condizioni di salinità dovrebbero in linea teorica condizionarne lo sviluppo (soprattutto nel PZ3), dal rilievo speditivi non sono stati osservati fenomeni di deperimento anche se gli esemplari risultano essere di dimensioni non particolarmente grandi. È possibile che il raggiungimento di valori di CE ps estremamente alti solamente per un periodo limitato e l'estendibilità delle radici in zone del profilo localmente più favorevoli possano rendere lo sviluppo di tale specie meno critico di quanto presupposto.

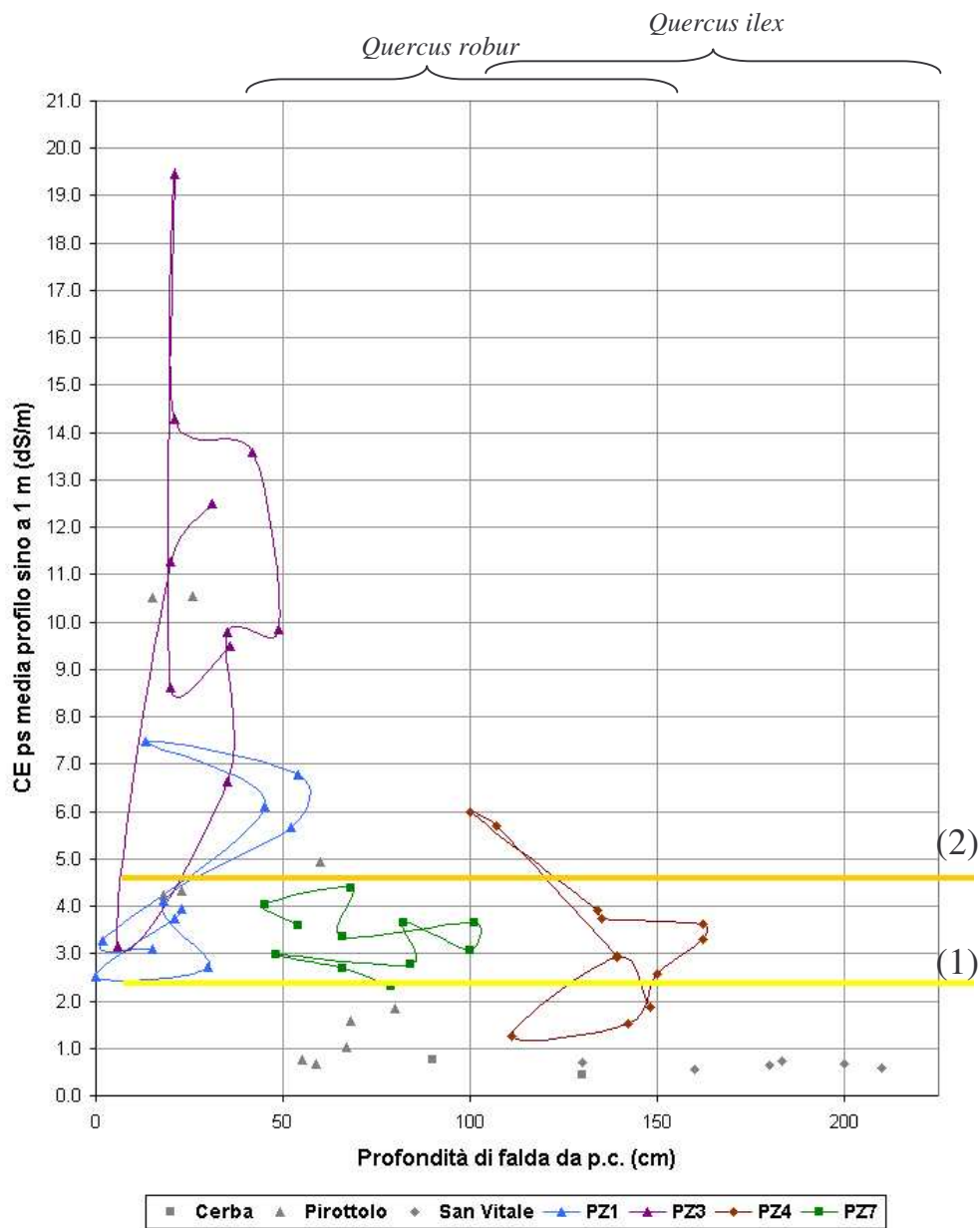


Figura 7.8. Andamento della profondità di falda e della CE ps media sul profilo, nei rilievi del monitoraggio, in relazione delle esigenze di *Quercus robur*, *Quercus ilex*. 1: Variazioni biomassa prodotta su *Q. robur* secondo Alaoui-Sossé et al. (1998) (+3% su steli e foglie, -6% su radici, -0.5% sul totale). 2: Variazioni biomassa prodotta su *Q. robur* secondo Alaoui-Sossé et al. (1998) -29% su steli e foglie, -37% su radici, -32% sul totale). 3: da osservazioni su campo e da Idroser (1985). 4: da osservazioni di Buscaroli et al. (2007).

In fine in figura 7.9 sono riportati i limiti di tolleranza di alcuni generi vegetali (prevalentemente arbustivi) osservati nelle pinete e ritenuti secondo Blaylock (1994) (tabella 7.5) più sensibili alla salinità del suolo. Si osserva come i livelli di

CE ps raggiunti nei profili PZ4 e PZ7 possano portare a riduzioni della biomassa prodotta sui generi di *Prunus*, *Rubus* e *Viola* anche considerevole. Tuttavia tali generi sono rappresentati nei siti indagati da specie quali *Prunus spinosae*, *Viola hirta* che non evidenziano sintomi riconducibili a salinità troppo elevate per il loro sviluppo.

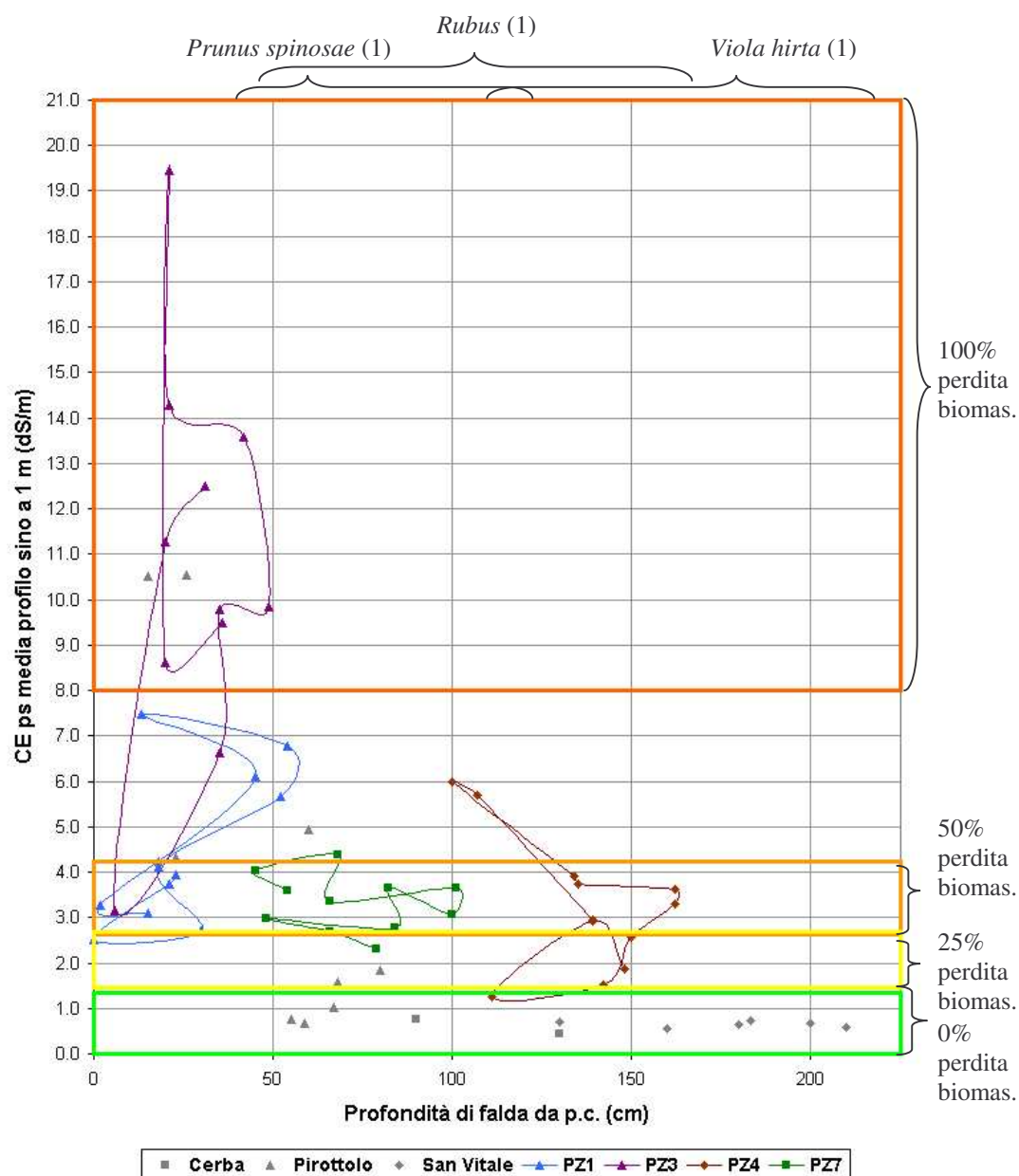


Figura 7.9. Andamento della profondità di falda e della CE ps media sul profilo, nei rilievi del monitoraggio, in relazione delle esigenze dei generi *Prunus*, *Viola* e *Rubus*. 1: indicata la presenza da Piccoli et al. (1999a) e verificata da osservazioni in campo.

È possibile infatti che tali limiti di salinità vengano indicati per specie agronomiche e non per specie, seppur dello stesso genere, cresciute in ambiente forestale e pertanto abituate a condizioni pedologiche più estreme. Anche i comuni rovi, del genere *Rubus*, rappresentano un elemento caratteristico degli ambienti sottoboschivi delle pinete, specialmente i più degradati a livello di pregio naturalistico (Piccoli *et al.*, 1999a). Il fatto che la loro presenza sia stata osservata specialmente nei siti dei profili PZ1 e PZ3, rende conferma della forte adattabilità delle specie presenti in pineta.

8. VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI SUL SISTEMA SUOLO-VEGETAZIONE GENERATI DALLE PRINCIPALI PRESSIONI ESISTENTI

In questo capitolo si è voluto in primo luogo inquadrare in modo più complessivo i possibili rapporti esistenti tra qualità del suolo e vegetazione osservati nel capitolo 7, cercando di estendere lo spettro di osservazione a tutta la Pineta di San Vitale e non solo ai siti oggetto di caratterizzazione pedologica (cap. 4) e di monitoraggio (cap. 5). Per fare questo ci si è serviti del modello empirico descritto nel capitolo 5. Mediante tale modello infatti è possibile estrapolare la CE_{ps}, parametro fondamentale per la qualità dei suoli forestali costieri, a partire da tutti i punti in cui siano conosciute CE e profondità di falda dal p.c.

I risultati ottenuti sul suolo in un sistema più ampio di osservazione, sia in termini di spazio che di tempo, sono stati messi a loro volta in relazione con le esigenze della vegetazione, permettendo di avere una visione più complessiva delle relazioni esistenti. Tale ulteriore indagine sui suoli è stata confrontata con i risultati già ottenuti dalla caratterizzazione pedologica e dal monitoraggio per verificarne la congruenza.

L'insieme delle osservazioni svolte ha permesso quindi di meglio identificare gli impatti sul sistema suolo-vegetazione in rapporto alle pressioni esistenti, sintetizzandone gli aspetti salienti in un modello concettuale di tipo "Driving Pressure State Impact Responce" (DPSIR), strutturato similmente a quanto indicato dall'European Environmental Agency (1995) e da Holten-Andresen et al. (1995).

8.1 UTILIZZO DEL MODELLO DI STIMA DELLA CE SUOLI SUGLI ALTRI PUNTI DI MONITORAGGIO DELLA FALDA

Mediante l'utilizzo del modello empirico (sottopar. 5.6.2) si è cercato di estendere il dato della CE_{ps} media sullo strato di suolo compreso entro 1 m dal p.c., servendosi dei dati della CE e profondità di falda, monitorati dalla rete piezometrica presente in Pineta di San Vitale (figura 8.1) ed utilizzando i parametri di temperatura T e precipitazione P, come descritto nel sottopar. 5.6.2, servendosi

delle rilevazioni della stazione meteorologica dell'Azienda Sperimentale Marani (sottopar. 4.1.1).

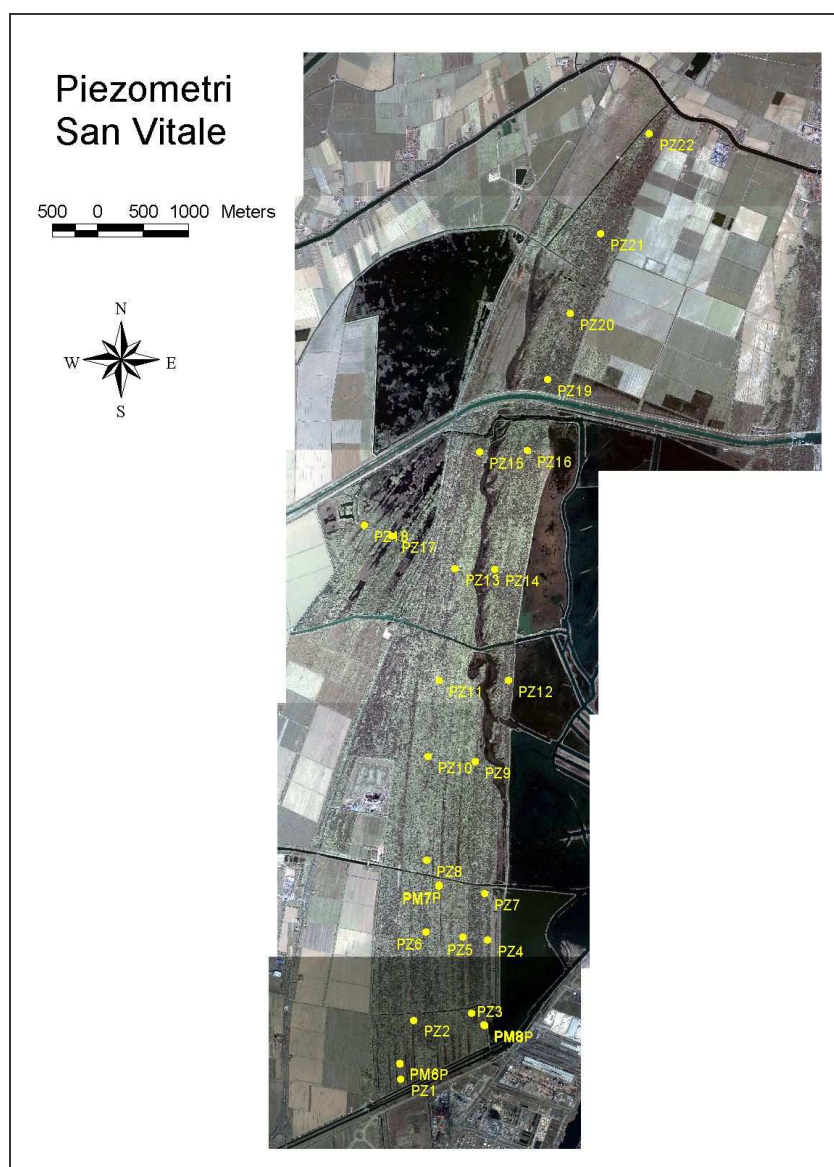


Figura 8.1. Disposizione dei piezometri nella Pineta di San Vitale.

I dati di profondità e CE di falda a disposizione partono da ottobre 2004 fino all'oggi. Si è pertanto ritenuto opportuno considerare il dato mensile di CE e profondità di falda mediato sui tre anni di rilievo a disposizione (da ottobre 2004 a ottobre 2007). Tale scelta è stata seguita per omogeneità di trattamento del dato anche nel calcolo dei valori di temperatura T e precipitazione P da inserire nel modello. In questo modo il valore mensile di ogni parametro risente meno delle

variabilità legate ad un singolo anno e può essere più rappresentativo di un certo periodo, per ogni determinato mese.

I piezometri di Pineta San Vitale (figura 8.1), i cui valori sono stati utilizzati per estrapolare la CE ps media nel 1° metro di profondità, sono disposti in modo abbastanza omogeneo lungo la pineta ed in numero di 20. La numerazione di questi è attribuita in modo progressivo da 0 a 22 (i PZ17 e PZ18 non sono stati considerati in quanto all'esterno della pineta), procedendo da sud verso nord.

La profondità di falda dal p.c. è stata ottenuta sottraendo al valore della profondità di falda rispetto alla bocca del piezometro (dato acquisito), l'altezza dell'asta del piezometro rispetto al p.c.

8.1.1. Ricerca di periodi di criticità stagionale delle specie forestali sulla base dei dati stimati dal modello

I dati relativi alla CE ps media estrapolata dal modello empirico sullo strato di suolo compreso entro 1 m dal p.c. sono riportati in tabella 8.1. In essa sono anche indicate, nelle prime due colonne di sinistra le coordinate chilometriche UTM fuso 33 secondo il sistema di riferimento WGS84. Vengono poi riportati i dati relativi alla profondità media di falda osservata nei siti dei piezometri nei tre anni di rilievi considerati.

Per agevolare l'interpretazione dei dati di CE ps viene riproposta la scala cromatica (figura 8.2) già utilizzata per i quattro profili del monitoraggio descritto nel capitolo 5.






Classi di conduttività elettrica (dS m^{-1})	
	0 - 2 Normale, suolo non salino
	2 - 4 Leggermente alta, suolo debolmente salino
	4 - 8 Alta, suolo molto salino
	8 - 16 Molto alta, suolo fortemente salino
	> 16 Estremamente alta, suolo molto fortemente salino

Figura 8.2. Scala cromatica relativa alle classi di CE nel suolo ed al corrispettivo livello di salinità (Sbaraglia e Iucci, 1994).

Dalla tabella 8.1 si osserva come circa la metà dei siti presenta durante tutti i mesi dell'anno valori di CE ps entro 1 m normali, lasciando presagire situazioni di suoli non salini per tutto l'anno. Questi siti sono situati in parte a nord del fiume

Lamone (PZ19, PZ20, PZ21 e PZ22), in parte a sud di quest'ultimo e a nord del canale Fossatone (PZ13 e PZ15), in parte tra i canali Via Cerba e Fossatone (PZ9, PZ10 e PZ11) ed a sud del canale Fiumetto (PZ2). Buona parte di questi siti presenta una profondità di falda media durante l'anno all'incirca uguale o superiore a -150 cm, in particolar modo quelli situati a nord del Lamone (tabella 8.1) situati al bordo di sentieri generalmente sulle sommità dunali. Generalmente anche gli altri posti più a sud hanno uno spessore medio della zona vadosa superiore a 130 cm, e sono situati o su spianate o su cordoni dunali. Fa eccezione il PZ2, con profondità di falda media inferiore.

Alcuni siti quali PZ1, PZ6, PZ8 e PZ16, presentano in alcuni periodo dell'anno, principalmente in inverno, primavera e autunno, valori di CE ps leggermente alti o alti in cui lo spessore di suolo compreso entro 1 m da p.c. può risultare debolmente o molto salino. Questi siti presentano profondità media di falda inferiore (compresa tra -65 e -124 cm dal p.c.) e sono situati ai margini di sentieri su sottili allineamenti dunali o in zona di spianata e bassura interdunale.

Si viene poi alle situazioni più critiche, presenti nei siti dei piezometri PZ3, PZ4, PZ5 e PZ12. In questi siti la CE ps raggiunge per almeno 3 mesi all'anno valori estremamente alti, sul primo metro di spessore di suolo e comunque per la maggior parte dei mesi si hanno perlomeno valori alti o molto alti di CE ps. Il dato apparentemente anomalo di maggio sul PZ4 è legato al forte abbassamento della CE di falda indotto da un intervento di slug test effettuato nel maggio del 2005 per verificare la conducibilità idraulica del sottosuolo. E' bene osservare che nel periodo non influenzato dallo slug test i valori di CE di falda del PZ4 sono i maggiori riscontrati tra tutti i piezometri. Inoltre nei mesi di febbraio marzo e aprile la CE di falda risulta alta a un punto tale da non consentire un'estrapolazione attendibile della CE ps (tabella 8.1), in quanto i valori di CE sono di troppo superiori a quelli utilizzati per la messa a punto del modello stesso.

Stante i valori di CE ps estrapolati su questi ultimi piezometri, lo spessore di suolo compreso entro 1 m dal p.c. si rivelerebbe durante l'anno da fortemente a molto fortemente salino, rendendo critico lo sviluppo di molte specie vegetali non alofile indicate nella tabella 8.2, già mostrata nel capitolo 7. Sostanzialmente i valori elevati rilevati in questi piezometri derivano da valori di CE di falda

estremamente elevati che a volte si spingono sino a valori al pari di quelli mediamente riscontrati nell'acqua di mare (PZ4). Confrontando i valori di CE di falda monitorati sui profili PZ3, PZ4 e PZ7 (tabelle 5.20, 5.21 e 5.22) con quelli dei rispettivi piezometri si osserva che questi ultimi sono in diversa misura superiori, in particolare le acque del piezometro PZ7 presentano valori mensili di CE mediati sui tre anni da 22.4 dS/m (novembre) a 30.9 dS/m (febbraio), superiori da 3 a 5 volte quelli monitorati nel rispettivo profilo e altrettanto alte rispetto ai valori massimi di CE ps determinati analiticamente. È possibile quindi ipotizzare che il valore di CE misurato nel piezometro sia riferito ad acqua proveniente dagli strati inferiori dove la salinità è molto più elevata. I piezometri di Pineta San Vitale sono infatti posti ad una profondità variabile da 3 a 6 metri e la parte di tubo forata per la captazione dell'acqua è solamente nell'ultimo metro dell'asta (Giambastiani, 2006), posto ben al di sotto della tavola d'acqua. In tal modo l'acqua più profonda e salata sarebbe favorita ad entrare nel piezometro a discapito dell'acqua meno più dolce presente nella porzione superficiale della falda. Questo potrebbe spiegare i valori di CE generalmente superiori.

Pertanto parte dei valori di CE ps estrapolati per alcuni di questi siti (PZ4 e PZ7) possono pertanto ritenersi non verosimili, in rapporto anche alle osservazioni sulla vegetazione presente la quale dovrebbe essere molto più stentata di quanto invece non lo sia.

Per i siti PZ5 e PZ12, per i quali non si dispongono di misurazioni dirette di CE ps non si può fare lo stesso tipo di asserzione. Tuttavia i dati di CE di falda relativi alle acque campionate nel profilo SV1 e in alcune trivellate (SVT3, SVT2) svolte durante i rilievi speditivi della caratterizzazione pedologica vicino a tale piezometro (tabella 4.7 cap. 4), mostrano valori in diversa misura inferiori a quelli del PZ5. Inoltre, anche le acque di falda del profilo Vecchia5, non molto distante dal piezometro PZ12, presentano valori di CE di falda mediamente di circa 3 volte inferiori (tabella 4.7). I valori di CE ps estrapolati col modello di Monteleone *et al.* (2003) dai valori di CE 1:2.5 sui profili SV1 e Vecchia5 lasciano presupporre suoli non salini a dispetto di quanto stimato dal modello empirico, per il quale si è fatto uso dei valori di CE di falda dei piezometri.

Tabella 8.1. CE ps media del suolo entro 1 m dal p.c. estrapolate, sui siti dei piezometri di San Vitale, dal modello empirico, sulla base dei dati mensili di profondità falda, CE falda, T media e precipitazioni medie da ottobre 2004 a ottobre 2007. Sono riportate (1 e 2^ colonna a sinistra) le coordinate WGS 84 fuso 33, e la profondità media di falda dal p.c. (*)

X WGS84	Y WGS84	NOME	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.	Falda p.c. (cm)*
279238	4926987	PZ1	2.7	3.3	4.0	3.9	2.7	1.8	1.6	1.9	3.0	3.0	2.9	4.2	-65
279381	4927633	PZ2	1.0	1.4	1.7	1.9	1.1	0.9	0.8	1.3	1.1	1.4	2.0	2.4	-120
280011	4927711	PZ3	18.7	35.7	30.6	29.0	16.9	15.6	8.6	21.4	20.3	14.8	14.7	18.4	-86
280190	4928514	PZ4	15.2	n.d.	n.d.	n.d.	1.7	2.0	2.2	6.7	12.0	13.3	21.1	31.8	-120
279916	4928541	PZ5	12.7	17.2	21.9	18.8	12.4	4.2	4.4	11.6	14.8	10.9	17.1	17.6	-82
279512	4928600	PZ6	1.4	2.2	5.0	4.4	1.3	0.9	0.6	0.7	0.9	1.5	0.8	6.0	-124
280154	4929021	PZ7	15.0	21.1	25.5	20.3	14.4	10.0	10.5	12.1	15.9	13.1	20.2	24.9	-67
279521	4929382	PZ8	1.6	1.8	2.4	2.2	2.5	0.4	0.4	0.4	0.5	2.3	1.6	3.0	-100
280052	4930463	PZ9	0.7	1.0	1.1	1.4	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.7	0.3	1.2	-144
279535	4930517	PZ10	0.3	1.7	0.4	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.5	-158
279653	4931355	PZ11	0.3	0.4	0.4	1.8	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	-152
280419	4931351	PZ12	15.6	20.8	25.4	19.7	14.8	13.3	21.9	16.4	8.5	9.4	12.5	9.6	-86
279833	4932574	PZ13	0.5	1.5	1.9	1.9	0.4	0.3	0.3	0.2	0.4	0.4	0.3	1.7	-132
280270	4932565	PZ14	4.3	7.0	6.3	4.2	2.2	1.2	1.2	1.4	2.5	2.4	2.3	4.7	-106
280099	4933855	PZ15	0.4	0.5	0.4	0.5	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3	0.5	-168
280626	4933870	PZ16	3.2	3.5	4.4	3.8	2.3	1.2	0.6	0.7	1.2	2.1	1.8	4.2	-83
280848	4934646	PZ19	0.7	1.1	0.9	0.9	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	1.1	-165
281091	4935374	PZ20	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	-228
281424	4936242	PZ21	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	-290
281961	4937338	PZ22	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.9	-173

Dal grafico di figura 8.3, unito a quanto riportato in tabella 8.2, si è cercato di mettere in relazione l'andamento della profondità di falda e della CE ps media estrapolata dal modello sullo strato di suolo compreso entro 1 m dal p.c., con le esigenze di alcune piante forestali arboree e arbustive. Tali relazioni sono state già state descritte nel capitolo 7 per i profili del monitoraggio (cap. 5) e si considerano ora per i siti dei 20 piezometri considerati, avendone estrapolato la CE ps sul primo metro di profondità del suolo.

Tabella 8.2. Livelli di salinità del suolo e classi di tolleranza salina sul potenziale di produzione di alcune specie, da Blaylock (1994) modificato.

Classi di tolleranza salina	Generi e specie presenti nelle pinete	Perdita prevista di crescita o produzione (%)			
		0	25	50	100
		Salinità del suolo (CE ps*, dS/m)			
Sensibili	<i>Prunus, Viola e Rubus</i>	< 1.3	1.4 - 2.7	2.6 - 4.2	> 8.0
Moderatamente sensibili	Pioppo, salice, olmo, frassino, ligustro	< 3.0	2.7 - 6.3	4.2 - 9.5	> 16.0
Moderatamente tolleranti	Pino, Ginepro	< 6.0	6.3 - 10.5	9.5 - 15.0	> 24.0
Tolleranti	Tamerice, <i>Asparagus</i> , piante grasse alofile	< 10.0	10.5 - 15.5	15.0 - 21.0	> 32.0

* : Conduttività elettrica dell'estratto in pasta satura

Nel grafico 8.3 ad ogni punto corrisponde un valore mensile di CE ps e di profondità di falda relativo ad un sito. A seguito di quanto detto sopra, le posizioni di alcuni punti relativi ai siti PZ3, PZ4 e PZ7, sono in diversa misura, anche molto superiori a quelle osservate nei grafici del capitolo 7 (figure 7.5, 7.6, 7.7, 7.8 e 7.9) relativi ai valori determinati dal monitoraggio.

Considerando, dalla tabella 8.2, le esigenze della vegetazione osservata nei siti vicino a questi tre piezometri, i dati di CE ps determinati nel monitoraggio sono decisamente più verosimili onde giustificare lo sviluppo delle specie vegetali presenti. I valori di CE ps estrapolati utilizzando i valori di CE di falda monitorati nei piezometri PZ3, PZ4 e PZ7, se così fossero, renderebbero assai critica la sopravvivenza di specie quali il pioppo, il *Quercus robur* (figura 7.8, cap. 7) e le altre specie moderatamente sensibili presenti in ambienti di bosco mesofilo e idrofilo che invece sono state osservate nei siti PZ3 e PZ7 senza particolari segni di deperimento riconducibili all'eccesso di salinità. Anche per il sito PZ4 può essere

detto che tali valori di CE ps media sul primo metro di suolo, come riportato in figura 8.3, sono troppo elevati per essere verosimili, in quanto i segni di deperimento sui pini a causa della salinità sarebbero ben più evidenti.

Le stesse considerazioni, pur se meno supportate da evidenze di campo così inequivocabili, possono essere fatte valere anche per i dati ottenuti nei siti PZ5 e PZ12.

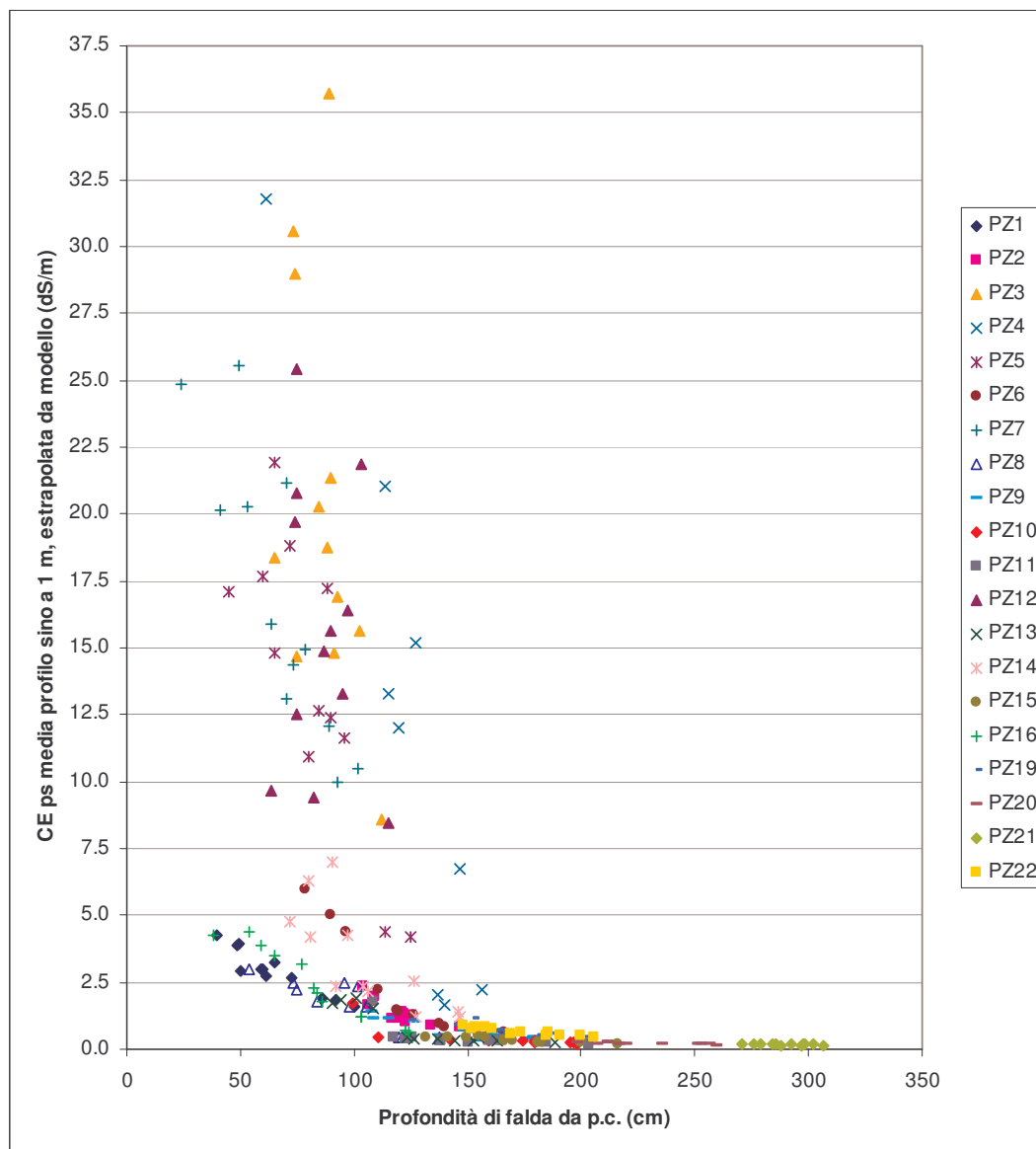


Figura 8.3. Andamento della profondità di falda e della CE ps media estrapolata dal modello sullo strato di suolo compreso entro 1 m dal p.c., relativa ai punti dei piezometri di Pineta San Vitale.

I punti relativi ai valori di CE ps e profondità di falda del sito PZ1 si collocano invece su posizioni abbastanza simili a quelli monitorati e visualizzati per il

relativo profilo in figura 7.5 (cap. 7), anche se la posizione più rilevata del piezometro rispetto al sito del rispettivo profilo evidenzia una profondità di falda mediamente più elevata.

La restante buona parte di punti, situata nella parte bassa del grafico di figura 8.3 è rappresentata dai valori ottenuti dai siti piezometrici aventi CE di falda non molto elevata e con falda a diversi livelli di profondità. Su questi siti la presenza di particolari specie è soprattutto vincolata al livello di umidità del suolo (profondità di falda) e non tanto alla sua salinità, salvo in alcuni casi per le specie più sensibili (tabella 8.2).

8.1.2. Congruenza dei dati ottenuti dal modello con quanto osservato dalla caratterizzazione pedologica

A seguito dei dati riportati e delle considerazioni espresse per essi nel sottoparagrafo 8.1.1, si sono poi voluti inquadrare i dati di CE ps media estrapolata dal modello sullo strato di suolo compreso entro 1 m dal p.c. nell'ambito di un confronto più ampio con tutte le osservazioni svolte.

Tale confronto si dimostra utile per verificare, in un quadro riassuntivo generale, il livello di congruenza dei dati ottenuti dal modello con quanto osservato attraverso dall'indagine pedologica sia in sede di monitoraggio ma anche da quanto ottenuto dalla caratterizzazione pedologica.

A tale scopo, in figura 8.4, vengono riportate le posizioni dei piezometri sulla carta dei suoli ottenuta dalla caratterizzazione pedologica (cap. 4), onde mettere in evidenza su quale pedotipo i piezometri vengano a ricadere. In tabella 8.3 sono invece riportati i valori medi di CE ps estrapolata e di profondità di falda dei siti dei piezometri. Sulla base di questi due dati ognuno di questi siti è stato ricondotto ad un pedotipo verosimile, rifacendosi alla dicitura delle sottounità cartografiche indicate dalla RER (1999) ed aggiungendo una valutazione in base ai valori di CE ps come riportato dalla classificazione di Sbaraglia e Lucci (1994) (figura 8.2). Questo dato estrapolato è stato confrontato col dato pedologico osservabile dalla Carta dei Suoli nella posizione dei siti dei piezometri. Infine per i quattro siti oggetto del monitoraggio (PZ1, PZ3, PZ4 e PZ7) sono stati identificati allo stesso modo i rispettivi pedotipi sempre sulla base delle indicazioni RER (1999).

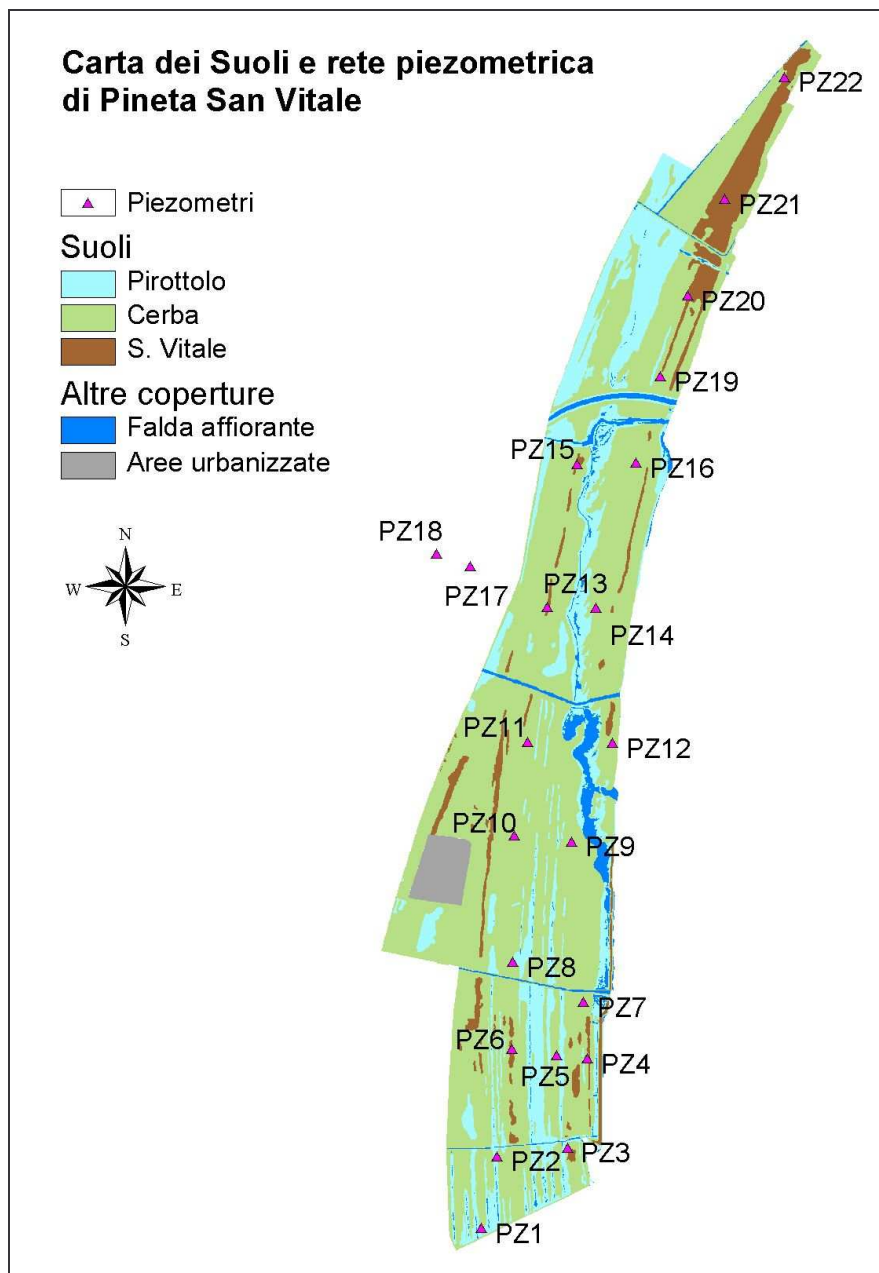


Figura 8.4. Carta dei Suoli ottenuta dalla caratterizzazione pedologica con le posizioni dei piezometri.

Dalla tabella si osserva come i pedotipi ricondotti nei siti dei piezometri risultino essere, sulla base della profondità media di falda o Cerba o San Vitale. Non deve meravigliare il fatto che non vi siano Pirottolo, in quanto i piezometri sono posti in luoghi di facile accessibilità e mai al centro di bassure interdunali a rischio di allagamento. I siti piezometrici ricondotti a suoli San Vitale (assenza di

falda entro i 150 cm di profondità) sono tutti nelle porzioni centrale e settentrionale della pineta ed i Cerba con profondità media di falda inferiore a 100 cm sono quasi tutti a sud del canale Via Cerba.

Tabella 8.3. Confronto tra le tipologie di suoli: estrapolate mediante il modello, osservate dalla cartografia della caratterizzazione pedologica (cap. 4) e osservate dal monitoraggio (cap. 5).

NOME	CE ps estrapolata (*)	Prof. falda da p.c. (**)	Tipologia suolo riconducibile dall'estrapolazione/classificazione secondo Sbaraglia e Lucci (1994)	Pedotipo dalla Carta dei Suoli	Pedotipo dal monitoraggio (***)
	dS/m	(cm)			
PZ1	2.9	-65	Cerba / debolmente salino	Cerba	Pirottolo molto salino
PZ2	1.4	-120	Cerba / non salino	Cerba	
PZ3	20.4	-86	Cerba / molto fortemente salino	Cerba	Pirottolo fortemente salino
PZ4	11.8	-120	Cerba / fortemente salino	Cerba	S. Vitale debolmente salino
PZ5	13.6	-82	Cerba / fortemente salino	Cerba	
PZ6	2.1	-124	Cerba / debolmente salino	S. Vitale	
PZ7	16.9	-67	Cerba / molto fortemente salino	Cerba	Cerba debolmente salino
PZ8	1.6	-100	Cerba / non salino	Cerba	
PZ9	0.7	-144	Cerba / non salino	Cerba	
PZ10	0.4	-158	S. Vitale / non salino	Cerba	
PZ11	0.4	-152	S. Vitale / non salino	Cerba	
PZ12	15.7	-86	Cerba / fortemente salino	Cerba	
PZ13	0.8	-132	Cerba / non salino	S. Vitale	
PZ14	3.3	-106	Cerba / debolmente salino	Cerba	
PZ15	0.3	-168	S. Vitale / non salino	S. Vitale	
PZ16	2.4	-83	Cerba / debolmente salino	Cerba	
PZ19	0.7	-165	S. Vitale / non salino	Cerba	
PZ20	0.2	-228	S. Vitale / non salino	S. Vitale	
PZ21	0.2	-290	S. Vitale / non salino	S. Vitale	
PZ22	0.7	-173	S. Vitale / non salino	Cerba/ S. Vitale	

* : CE ps (estrapolata dal modello empirico) sullo strato di suolo compreso entro 1 m dal p.c., mediata nei tre anni (ott. 2004 - ott. 2007).

** : mediata nei tre anni (ott. 2004 - ott. 2007).

*** : l'indicazione sulla salinità è stata ottenuta mediando i valori di CE ps su tutto il monitoraggio entro 1 m di profondità e classificata secondo Sbaraglia e Lucci (1994).

Riguardo alla salinità, ricondotta dalla CE ps estrapolata, si osserva che per i siti a ridosso delle piallasse e soprattutto nella zona meridionale sono state estrapolate le salinità del suolo più elevate, mentre per i siti più ad ovest e

soprattutto nella porzione settentrionale sono stati estrapolati valori di CE ps riconducibili a suoli debolmente o non salini.

Da tali estrapolazioni sembrerebbe che riguardo a salinità e profondità di falda i siti della porzione centro-settentrionale e occidentale offrano condizioni di qualità migliore al fine di supportare lo sviluppo per piante non alofile abituate a suoli areati, come ad esempio il pino domestico.

I pedotipi osservati sulla carta dei suoli relativi ai siti dei piezometri concordano abbastanza con quelli ricondotti sulla base delle profondità di falda (15 su 20 siti). Sembra comunque che alcuni siti soprattutto della parte centro-settentrionale siano stati indicati come suoli Cerba anziché San Vitale, specialmente se ricadenti in zone non osservate direttamente, la cui assenza di pini aveva lasciato presagire dalla fotointerpretazione, la presenza di suoli Cerba.

Per quanto riguarda i quattro siti oggetto del monitoraggio si osserva che i valori di CE ps media lungo i profili sono decisamente inferiori rispetto a quelli estrapolati dal modello empirico. Tale discordanza come già accennato non è da ricondursi ad una sovrastima del modello bensì ai valori di CE di falda dei piezometri maggiori di circa il doppio rispetto ai rispettivi profili PZ3 e PZ4 e da 3 a 5 volte rispetto al profilo PZ7.

Riguardo al modello empirico, come visto nella sua validazione (par. 5.7), questo non sovrastima i trend di aumento della CE ps in profondità né tanto meno gli aumenti superficiali nei periodi estivi.

8.2. CONSIDERAZIONI SUGLI IMPATTI IN RAPPORTO ALLE OSSERVAZIONI SVOLTE

L'insieme delle osservazioni svolte ha consentito di meglio comprendere in che misura l'azione di alcuni parametri ambientali o antropici può influire sulla qualità del suolo in un contesto dinamico di monitoraggio.

L'acquisizione di queste conoscenze ha permesso di inquadrare meglio a livello concettuale quali sono le principali pressioni esterne che influiscono sulla qualità dei suoli forestali studiati, andandone a modificare lo stato.

Per avere una visione di insieme di quelle che sono le dinamiche influenzanti la qualità del suolo in un sistema complesso quale quello gravitante attorno alle zone

oggetto di studio, si è ritenuto opportuno inquadrare il tutto in un modello concettuale di tipo DIPSIR ovvero “Driving forces, Pressures States Impacts Responses”. Questo tipo di modello proposto per la prima volta dall’European Environmental Agency (EEA) (1995) e da Holten-Andresen et al. (1995), è adottato in numerosi rapporti della stato dell’ambiente dell’EEA, dell’APAT e delle ARPA e rappresenta uno strumento per lo studio delle variabili ambientali.

La struttura del modello prevede l’identificazione di una serie di determinanti (driving forces) i quali generano delle pressioni (pressures) naturali o antropiche che vanno ad agire sullo stato (states) delle diverse matrici ambientali, determinandone delle modificazioni identificabili come impatti (impacts). L’azione dell’uomo in questo ambito può avvenire mediante delle risposte (responses) volte a modificare l’assetto di tali dinamiche. Le risposte possono tradursi, onde se ne valuti la necessità, in azioni rivolte a qualsiasi altro elemento del modello (determinanti, pressioni, stato e impatti).

Nel caso degli ambiti oggetto di studio è stato considerato un modello DPSIR applicato alla qualità dei suoli forestali costieri con particolare riferimento alla Pineta di San Vitale, come visualizzato in figura 8.5.

Le principali determinanti a cui il sistema suolo considerato è soggetto sono l’andamento climatico, l’aerosol marino, la subsidenza, il cuneo salino e l’azione drenante delle idrovore. Questi determinanti generano pressioni quali: piovosità, temperatura, salinizzazione e sodicizzazione della falda ed oscillazione della profondità di questa. Queste pressioni agiscono su alcuni parametri che possono essere considerati come indicatori dello stato del suolo e principalmente salinità (CE ps), alcalinità (pH), sodicità (ESP, SAR) e grado di saturazione idrica.

Il cambiamenti di questi parametri vengono indicati come impatti, traducibili principalmente in un depauperamento delle caratteristiche chimico fisiche del suolo, squilibri nutrizionali delle piante, danni alla pedofauna e variazione del grado di saturazione idrica. Nel modello sono stati compresi anche gli impatti sulla vegetazione, traducibili perlopiù in modificazioni della struttura vegetazionale.

In tale ambito, dove il suolo essenzialmente si comporta come un corpo che risente dei cambiamenti esterni facendo da filtro nei confronti della vegetazione, i principali interventi di risposta si possono attuare agendo sulle determinanti.

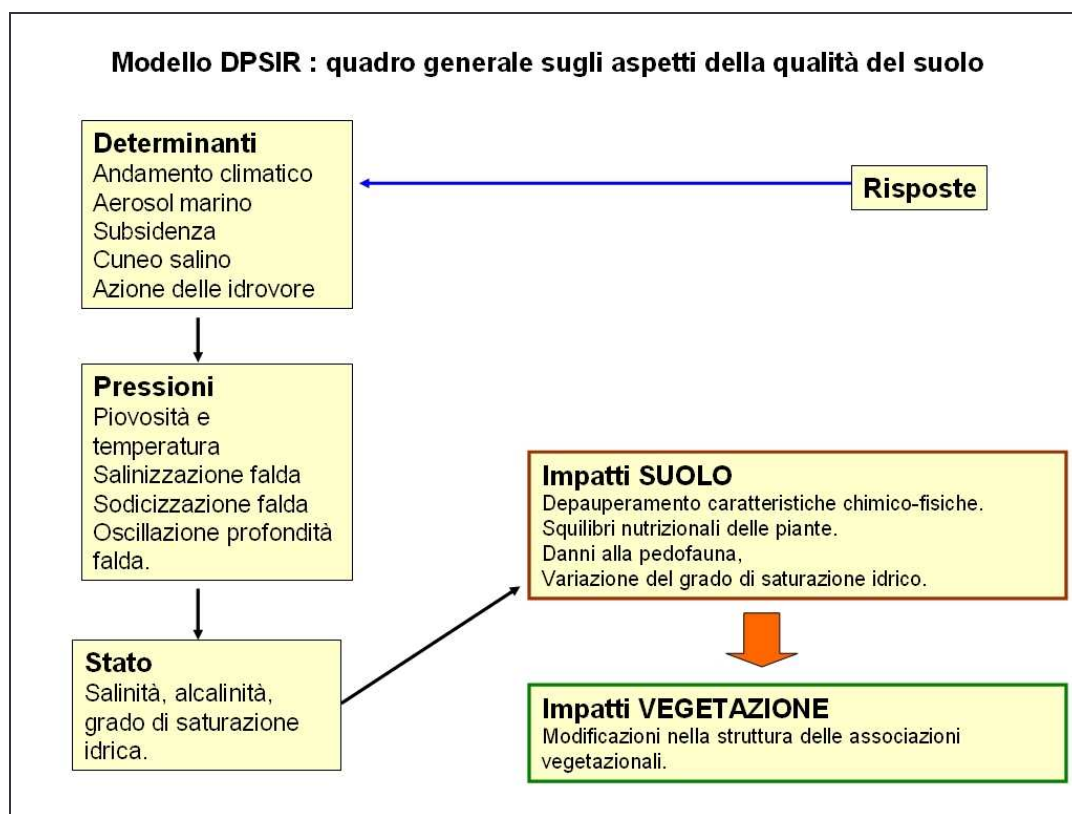


Figura 8.5. Struttura del modello DPSIR applicata agli aspetti della qualità del suolo nelle pinete.

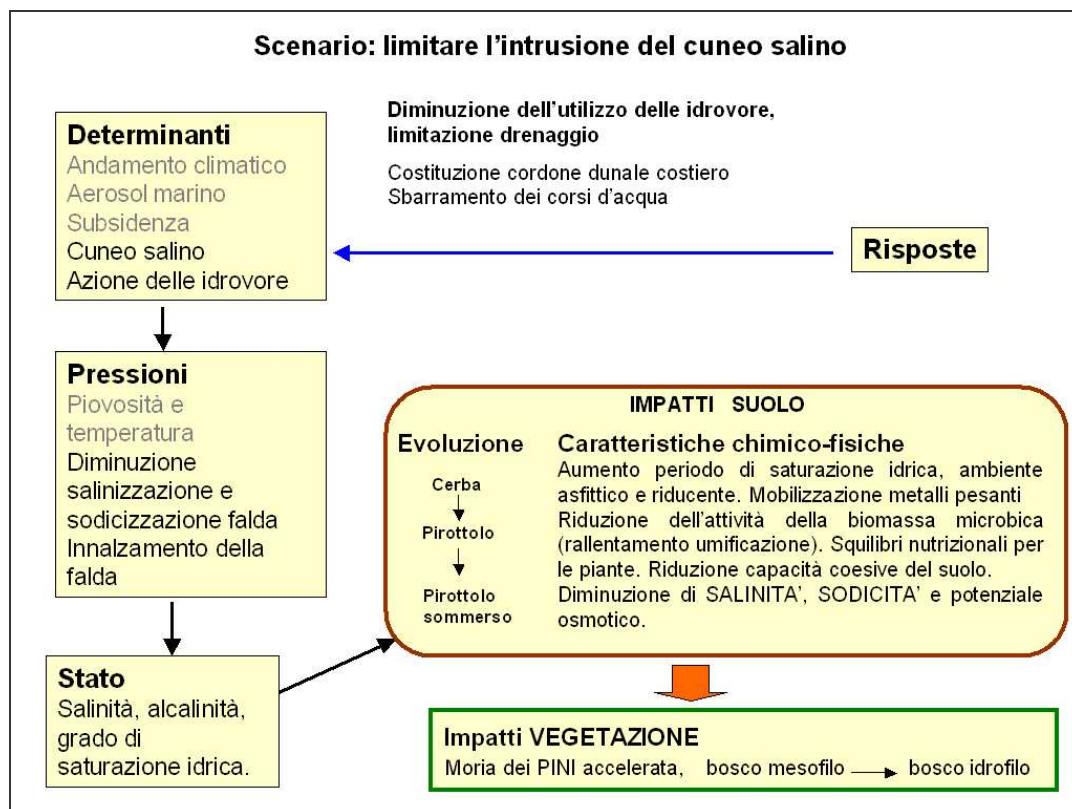


Figura 8.6. DPSIR relativo a risposte aventi l'obiettivo di limitare l'intrusione del cuneo salino.

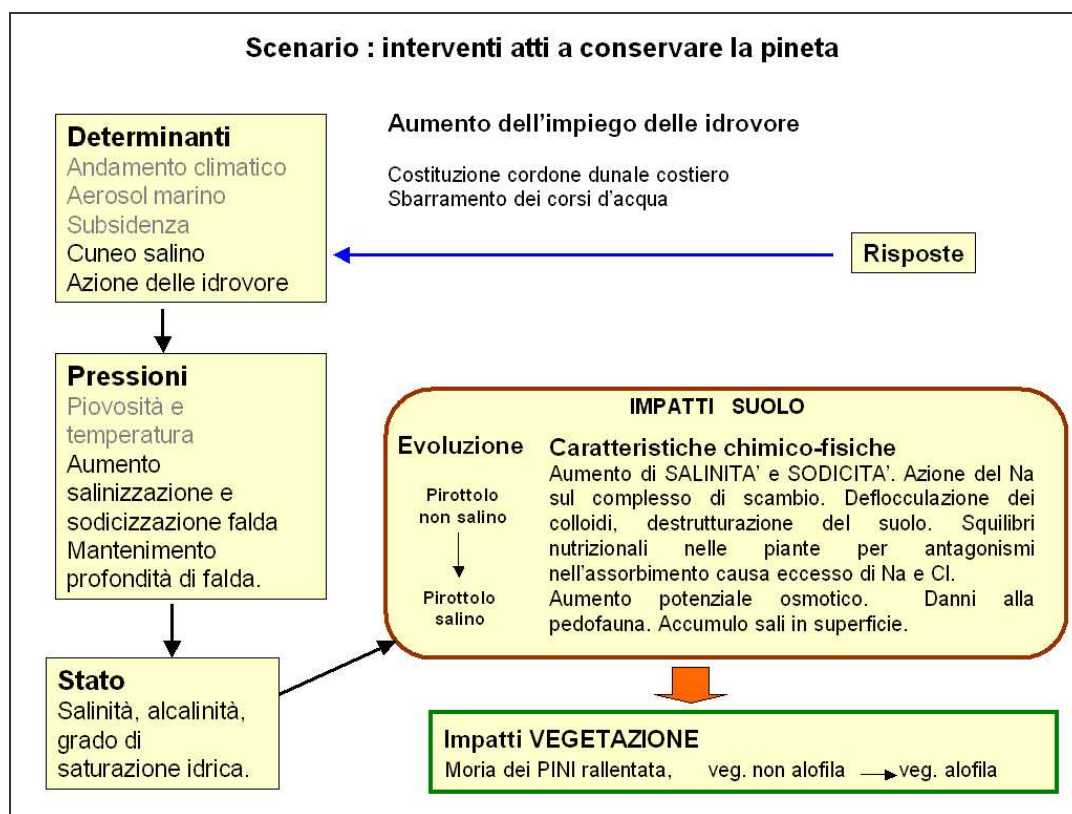


Figura 8.7. DPSIR relativo a risposte aventi l'obiettivo di favorire la conservazione delle pinete.

In figura 8.6 viene schematizzato un possibile scenario legato ad una serie di risposte finalizzate a limitare l'intrusione del cuneo salino. Azioni quali la diminuzione dell'utilizzo delle idrovore, unite alla ricreazione del cordone dunale costiero onde favorire la ricarica della falda e allo sbarramento dei corsi d'acqua, potrebbero ridurre la salinizzazione e la sodicizzazione della falda, am nel contempo aumentare il livello medio di falda nelle zone che più risentono dell'influsso delle idrovore. Tali pressioni modificherebbero i parametrici salinità, sodicità e saturazione idrica del suolo andando a causare tutta una serie di impatti, in primo luogo l'aumento del periodo di saturazione idrica con creazione di ambienti asfittici e riducenti. La mobilitazione di metalli pesanti probabilmente non sarebbe significativa (a seguito di quanto riportato nel cap. 6), ma molto evidente risulterebbe la riduzione dell'attività della biomassa microbica (rallentamento umificazione, aumento del C/N). Non mancherebbero gli squilibri nutrizionali per le piante ed evidente sarebbe anche la riduzione delle capacità coesive del suolo nei confronti delle radici delle specie arboree. Effetti positivi

sarebbero invece la diminuzione di salinità, sodicità e potenziale osmotico del suolo.

I suoli che risentirebbero maggiormente di tali interventi sarebbero i Pirottolo, parte dei quali andrebbe incontro a perenne allagamento, mentre alcuni suoli Cerba (quelli con falda più superficiale), potrebbero assumere le caratteristiche chimico-fisiche dei Pirottolo.

L'ambiente pedologico così modificato porterebbe ad una moria accelerata dei pini, mentre si assisterebbe alla graduale sostituzione del bosco mesofilo con quello idrofilo.

Un altro ipotetico scenario viene riportato in figura 8.7 nel quale verrebbero messe appunto una serie di risposte volte a conservare la pineta in ogni modo.

Azioni quali l'aumento dell'utilizzo delle idrovore, unite alle altre azioni descritte per lo scenario precedente, potrebbero ad aumentare la salinizzazione e la sodicizzazione della falda, pur di tenere basso il suo livello piezometrico anche nelle zone più depresse. Tali pressioni modificherebbero i parametri salinità, sodicità e saturazione idrica del suolo andando a causare impatti come: l'aumento di salinità e sodicità. L'azione del Na sul complesso di scambio porterebbe alla deflocculazione dei colloidi con la conseguente destrutturazione del suolo. I problemi maggiori sarebbero legati comunque a carenze nutrizionali nelle piante per via dell'aumento del potenziale osmotico ed a squilibri nutrizionali per antagonismi del Na nell'assorbimento specialmente del K. Inoltre in estate nei suoli con minor profondità di falda l'accumulo sali in superficie sarebbe ancora più evidente.

I suoli che risentirebbero maggiormente di tali interventi sarebbero i Pirottolo i cui effetti della salinizzazione di falda si farebbero maggiormente sentire su tutto il profilo.

L'ambiente pedologico così modificato porterebbe sì ad una moria dei pini rallentata, ma ad una graduale sostituzione delle specie vegetali non alofile con quelle alofile negli ambienti con spessore della zona vadosa ridotta. È possibile inoltre che anche specie arboree come il pioppo, il frassino, l'olmo e la farnia manifestino segni di sofferenza per l'aumentata salinità nel suolo.

Questi due scenari rappresentano quelli maggiormente verosimili, il primo tenderebbe a minimizzare l'attività antropica, lasciando lentamente rinaturalizzare l'ambiente, il secondo invece prevede un aumento dell'attività antropica onde preservare un l'aspetto paesaggistico caratteristico delle pinete, ma porta ad un maggior dispendio di energie che portano nel lungo termine ad un peggioramento qualitativo del suolo forse maggiore del primo scenario.

9. CONCLUSIONI

Sono diversi gli aspetti della pedologia relativa ai suoli forestali di ambiente costiero della Provincia di Ravenna che sono stati studiati al fine di aumentare le conoscenze legate a tali zone, in parte già studiate in passato sotto il profilo pedologico, ma la cui difficile accessibilità e la forte variabilità dei fattori della pedogenesi, non avevano all'oggi consentito di svolgere uno studio complessivo che mettesse in relazione il suolo con le altre matrici ambientali, i cui aspetti qualitativi sono meglio e da più tempo monitorati.

La caratterizzazione pedologica ha permesso di meglio comprendere l'elevata variabilità spaziale di alcuni fattori della pedogenesi, in particolar modo l'andamento microtopografico e la presenza o meno della falda freatica. Si è visto che tale variabilità segue direzioni preferenziali legate all'andamento dei cordoni dunali e rende assai problematica la realizzazione di una carta pedologica sulla base di un campionamento statistico di suoli. Si è quindi proceduto ad un'indagine ambientale basata sull'individuazione di ambiti omogenei e in questa fase sono state migliorate le chiavi di interpretazione dei vari livelli informativi in particolar modo delle immagini telerilevate.

L'indagine pedologica ha permesso nel suo insieme di ottenere un set analitico generale sul quale sono state ricercate le possibili relazioni esistenti tra i diversi parametri studiati.

Nonostante la conferma dell'elevata variabilità delle proprietà chimico fisiche di questi suoli già evidenziata dal confronto con gli studi pregressi, sono state riscontrate diverse relazioni. Tra le più significative si citano le correlazioni osservate tra carbonio organico, calcare totale e pH, dalle quali si è compreso in che misura l'effetto della decarbonatazione agisce nei diversi ambiti pedogenetici e tra suoli con diversa età di formazione. Altro parametro importante osservato è stato il rapporto C/N al fine di avere un'indicazione sull'efficienza dell'umificazione nei vari ambiti.

La cartografia prodotta dalla caratterizzazione pedologica ha permesso di poter disporre uno strumento di sintesi che possa rappresentare ad una scala di dettaglio

superiore a quella esistente, la distribuzione spaziale dei pedotipi in zone quali quelle indagate, spesso di difficile osservazione.

Dall'indagine di monitoraggio sui quattro profili rappresentativi di una delle zone più critiche in fatto di pressioni sul suolo sia naturali che antropiche (zona meridionale di Pineta San Vitale), sono state messe in luce le modificazioni di alcuni parametri del suolo in funzione delle pressioni esercitate dai principali fattori ambientali esterni. L'analisi in un contesto dinamico di monitoraggio ha permesso di meglio comprendere e quantificare quali modificazioni possono avvenire nel suolo se sottoposto a certe pressioni provenienti dalle altre matrici ambientali.

Inoltre la molteplicità dei profili studiati, corroborati dalle determinazioni analitiche realizzate sia in ambito di caratterizzazione pedologica, sia in ambito di monitoraggio ha permesso di fornire nuove informazioni a riguardo della classificazione tassonomica dei suoli sia a livello di Soil Taxonomy che di WRB.

Un aspetto ulteriore di caratterizzazione della qualità del suolo è stato quello relativo all'inquinamento da microtossici per causa antropica. In tale sede si è cercato di mettere in evidenza la presenza e disponibilità di tali elementi al variare delle condizioni chimico-fisiche dei suoli.

Gli effetti indotti sul suolo sono stati poi messi in relazione con le esigenze della vegetazione presente in tali ambienti, cercando di osservarne gli effetti in campo e sulla base delle informazioni bibliografiche, individuando le condizioni di maggior criticità per le varie specie esistenti.

Si è visto poi, che per certe condizioni, le relazioni tra alcune proprietà rappresentative della qualità del suolo ed alcuni parametri ambientali di più facile monitoraggio, possono essere determinate per via statistica o quantomeno empirica, pur con gli inevitabili margini di errore. Sulla base di tali determinazioni si è cercato di estrapolare le condizioni del suolo specialmente in merito alla salinità ed alla profondità di falda utilizzando i dati disponibili di alcuni parametri ambientali.

Gli aspetti della qualità del suolo estrapolati per via empirica messi a loro volta in rapporto con le esigenze della vegetazione hanno potuto fornire un quadro più complessivo dell'assetto del sistema suolo-pineta, anche se comprensivo, come si è visto, di un maggior grado di incertezza tra quanto stimato e quanto osservato in campo.

Nel complesso le indagini svolte hanno permesso di meglio comprendere le dinamiche di certi fenomeni che avvengono in questi tipi di suolo soprattutto in rapporto alle pressioni esercitate dai fattori ambientali esterni che insistono sul territorio.

In particolare dalla caratterizzazione pedologica e dall'indagine di monitoraggio si è potuto constatare come il suolo, in quanto sistema aperto a scambi energetici e di massa con le altre matrici ambientali, risenta dei cambiamenti che avvengono in esse, modificando a sua volta, nel breve periodo o in tempi più o meno lunghi, le sue caratteristiche (salinizzazione, saturazione idrica, decarbonatazione, ecc.).

Si è inoltre potuto constatare come i suoli delle zone studiate abbiano un effetto tampone piuttosto ridotto sulla mitigazione degli effetti indotti da alcune pressioni esterne prese in esame (salinizzazione, sodicizzazione e innalzamento della falda freatica). Questo è dovuto principalmente alla ridotta presenza di scambiatori sulla matrice solida atti a mantenere un equilibrio dinamico con le frazioni solubili. Il contenuto di materia organica infatti è concentrato nel primo orizzonte superficiale e la frazione argillosa è esigua. Per tale motivo le variazioni di alcuni parametri ambientali che si ripercuotono sul suolo determinano nel breve tempo un'azione di impatto anche sulla vegetazione.

Come osservato infine dal modello DPSIR gli scenari di intervento verosimilmente più perseguibili, porterebbero comunque sul lungo periodo ad un peggioramento di alcune caratteristiche dei suoli, pur nell'intento di migliorarne altre. Tali dinamiche sembrano difficili dall'essere evitate in quanto buona parte delle aree oggetto di studio sono mantenute tali, almeno sotto il profilo idrologico, esclusivamente dall'azione dell'uomo.

BIBLIOGRAFIA

Abbott J., Baker S., Coleman P., Dyke P. and Watterson J., 1997. A study of dioxins and trace metals in soil around four municipal waste incinerators in Hampshire: Part 2. Trace metals. Culham,UK, Environment Agency.

Abu-Zeid N., Santarato G., Giovannini A., 1998. Investigation of aquifer boundaries and seawater intrusion in the coastal plain of the Po delta using geoelectric measurements. Journal Annales Geophysicae, Supplement of v. 16, p 442.

Alaoui-Sossé B., Sehmer L., Barnola P., Dizengremel P., 1998. Effect of NaCl salinity on growth and mineral partitioning in *Quercus robur* L., a rhythmically growing species. Tree. v.12, n. 7, p. 424-430.

Àlvarez-Rogel J. Carrasco L., Marín C. M., Martínez-Sánchez J. J., 2007. Soils of a dune coastal salt marsh system in relation to groundwater level, micro-topography and vegetation under a semiarid Mediterranean climate in SE Spain. Catena, v. 69, p. 111-121.

Amorosi A., Colalongo M.L. e Fusco F., 1999a. Sedimentary response to Late Quaternary sea-level changes in the Romagna coastal plain (northern Italy). Sedimentology, v. 46, p. 99-121.

Amorosi A., Colalongo M.L., Pasini G. e Preti D., 1999b. Glacio-eustatic Control of Continental-Shallow Marine Cyclicity from Late Quaternary Deposits of the Southeastern Po Plain, Northern Italy. Quaternary Research, v. 52, p. 1-13.

Amorosi A., Centineo M.C., Dinelli E., Lucchini F. and Tateo F., 2002. Geochemical and mineralogical variations as indicators of provenance changes in Late Quaternary deposits of SE Po Plain. Sedimentary Geology, v. 151, p. 273-292.

Amorosi A., Colalongo M.L., Fiorini F., Fusco F., Pasini G., Vaiani S.C. e Sarti G., 2004. Paleogeographic and paleoclimatic evolution of the Po Plain from 150-ky core records. Global and planetary Change, v. 40, p. 55-78.

Amorosi A., Marchi N., 1999. High-resolution sequence stratigraphy from piezocone tests: an example from the Late Quaternary deposits of the southeastern Po Plain: Sedimentary Geology, v. 128, p. 67-81.

Amorosi A. e Sammartino I., 2007. Influence of sediment provenance on background values of potentially toxic metals from near-surface sediments of Po coastal plain (Italy). Int. J. Earth Science (Geol. Rundsch), v. 96, p.389–396.

Angelini R., Strumia F., 1994. Il bacino della Piallassa Baiona. Descrizione del territorio dal punto di vista delle fonti di carico inquinante. In: Soprani S., Ricci C., (cur.), Analisi dello stato ambientale e sanitario nelle valli ravennati. La Piallassa Baiona, p. 157-200. Azienda U.S.L. Ravenna, Ravenna.

APAT, IRSA-CNR, 2003. Metodi analitici per le acque. Manuali e linee guida 29/2003, APAT.

Apostol K.G., Zwiazek J.J., MacKinnon M.D., 2002. NaCl and Na₂SO₄ alter responses of jack pine (*Pinus banksiana*) seedlings to boron, Plant and Soil, v. 240, p. 321-329.

Aquater, 1988. Caratteristiche idrogeologiche, idrauliche ed idrodinamiche della falda freatica e rapporti falda freatica-subsidenza nelle pinete di S. vitale e di Classe (RA). Comune di Ravenna.

Arnaud A., Masser L., Salgé F., Scholten H., 1993. GISDATA Research Programme. European Science Foundation GISDATA Newsletter, n.1, p.3.

Aronson J., 1985. Economic halophytes – a global review. In Plants for arid land. Eds G.E. Wickens, J.R. Goodin, D.V. Field, George Allen & Unwin, London.

ARPA Emilia-Romagna, 2003. Progetto Integrato per la tutela dell'acquifero, la lotta alla subsidenza e alla erosione costiera: studio della subsidenza tramite interferometria. Bologna, p. 1-52.

Atkins P. W., 1992. Chimica generale. Zanichelli, Bologna.

Bagnari T., Rossi M., 1996. Qualità delle acque superficiali dei bacini idrografici della Provincia di Ravenna L. R. n. 9/83. Provincia di Ravenna.

Bagnouls F., Gaussen H., 1953. Saison seche et indice Xérothemique. Bull. Hist. Nat., v. 88 fasc. 3-4, Toulouse.

Barbiroli G., Casalicchio G., Turtura G. C., Raggi A., 2000. Indici di Qualità Ambientale dei Suoli. Franco Angeli Ed.

Barbolani E., Gandolfo G. P., Pissi P., Ramat G., 1997. Influenza della salinità dell'acqua di falda sulle condizioni vegetative del pino domestico nel Parco Regionale della Maremma. Atti del 1° congresso SISEF, Legnaro, Padova, p. 69-72.

Bassi A., 2002. Guida alla flora della Pineta San Vitale, volume I. Chiavi analitiche, Longo Editore, Ravenna.

Bear J., Cheng A. H. D., Sorek S., Ouazar D., Herrera I., 1999. Theory and applications of transport in porous media – Seawater Intrusion in Coastal Aquifers – Concepts, Methods and Practices. Kluwer Academic Publishers, 625 pp.

Bianchini G., Liviano R., Lovo S. e Vaccaro C., 2002. Chemical-mineralogical characterisation of clay sediments around Ferrara (Italy): a tool for environmental analysis. Applied Clay Science, v. 21, p. 165-176.

Bishop K., 2005. Caratterizzazione idrologica-ambientale delle Vene di Ancona e Bellocchio. Tesi di laurea specialistica in Scienze per l'Ambiente e il Territorio. A.A. 2004/2005. Università di Bologna.

Blaylock A. D., 1994. Soil Salinity, Salt Tolerance, and Growth Potential of Horticultural and Landscape Plants. Cooperative Extension Service bulletin n. 988, University of Wyoming.

Bondesan M., Favero V., Viñalis M. J., 1995. New evidence on the evolution of the Po delta coastal plain during the Holocene. *Quaternary International*, v. 29/30, p. 105-110.

Bondesan M., 1985. Quadro schematico dell'evoluzione geomorfologia olocenica del territorio costiero compreso fra Adria e Ravenna. In: Atti della Tavola Rotonda "Il Delta del Po", 24 novembre 1982, Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna, p. 23-36.

Bonfante A., 2007. Una rivalutazione della classificazione del regime di umidità e termico dei suoli attraverso modelli con base fisica. Bollettino Atti del Convegno Nazionale SISS 2007 (in stampa).

Bonneau M., 1981. Cours de pédologie forestière. ENGREF, Nancy.

Bonora N., Schiavi C., Tessari U., Zamaraiolo A., Simeoni U., 2004. Monitoraggio del comportamento idraulico dell'area di foce del canale Bellocchio. Università di Ferrara, dipartimento di Scienze della Terra.

Braun-Blanquet J., 1964. Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3rd ed. Springer, Berlin.

Buscaroli A., Pezzi G., Zannoni D., 2007. Suoli e vegetazione in una pineta litoranea. Un caso di studio nella provincia di Ravenna. Bollettino Atti del Convegno Nazionale SISS, p.119-126.

Buscaroli A., Zannoni D., 2006. I suoli delle pinete di Classe e San Vitale. In CIRSA Eds. "Caratteristiche ambientali del sistema delle pinete storiche ravennati di San Vitale e Classe: aggiornamento al 2006". (in stampa).

Capri E., Trevisan M., 2002. I metalli pesanti di origine agricola nei suoli e nelle acque sotterranee. In: Quaderni di tecniche di protezione dell'ambiente n. 74, sez. Protezione delle acque sotterranee, Pitagora Editrice, Bologna.

Carbognin L., Gatto P., Mozzi G., 1984. Case of history no. 9.15: Ravenna, Italy. In: Poland J.F. (ed) Guidebook to studies of land subsidence due to ground-water withdrawal. UNESCO, Paris, p. 291-305.

Casalicchio G., 2000. I microelementi nell'ecosistema terrestre: micronutrienti, microutili e microtossici nel suolo, nei vegetali, negli animali e nell'uomo. In: Quaderni di tecniche di protezione dell'ambiente n. 71, sez. Agricoltura, zootecnica, ambiente, v.1, Pitagora Editrice, Bologna.

Casalicchio G., 2006. Geopedologia con Elementi di Geoarcheologia. Pitagora Editrice, Bologna, 847 p.

Christensen T. H., 1984. Cadmium soil sorption at low concentration: I. Effect of time, cadmium load, pH, and calcium. *Water Air Soil Pollut.*, v. 21, p. 105-114.

Comune di Ravenna, 1998. Piano di gestione del sito “San Vitale” (Punte Alberete, Valle della Canna o Mandriole, Pineta San Vitale, Piallassa Baiona e aree limitrofe). Allegato I-II-III-IV-V, Provincia di Ravenna, Comune di Ravenna.

Comune e Ravenna, Provincia di Ravenna, Parco del Delta del Po, 2004. Progetto di interventi di miglioramento forestale nella Pineta di san Vitale, Parco 2 Giugno – 1° stralcio. Relazione tecnica.

Conti R., 1876. Sul Pineto Ravennate - Notizie e pensieri. Calderini, Ravenna.

Correggiati A., Roveri M., Trincardi F., 1996. Late Pleistocene and Holocene evolution of the north Adriatic Sea. *Il Quaternario*, 9 (2), p. 697-704.

Cortellessa C. M., 1995. Breve corso sul GIS. Supplemento ai numeri 5/93, 1/94, 2/94, 3/94, 4/94 di Mondo Auto CAD.

Corticelli S., Piccoli F., Dell’Aquila L., Pellizzari M., 1999. Carta della vegetazione 1:25000, N. 11.5. Parco Regionale del Delta del Po, Stazione Centro Storico e Valli di Comacchio, Regione Emilia-Romagna, Servizio geologico.

Corticelli S., Garberi M. L., Guandalini B., Marvasi G., 2002. La carta della vegetazione per la gestione e la pianificazione del Parco del Delta del Po. In: Documenti del Territorio n. 55, Centro interregionale di coordinamento e documentazione per l’informazione territoriale.

Curzi P. V., Dinelli E., Lucchi M. R., Vaiani S. C., 2006. Palaeoenvironmental control on sediment composition and provenance in the late Quaternary deltaic successions: a case study from the Po delta area (Northern Italy). *Geological journal*, v. 41, p 591-612.

Dazzi C., 1995. Appunti di peologia. Dispense di lezione.

Debenedetti A., 1965. Probabili relazioni tra cicli glaciali e movimenti epirogenetici alpini e subalpini. In: *Boll. Soc. Geol. Ital.*, v. 84, p. 105-115.

Diani L., Ferrari C., 2006. La vegetazione della pineta di San Vitale e il pattern spaziale di *Pinus pinea*. In: CIRSA Eds. “Caratteristiche ambientali del sistema delle pinete storiche ravennati di San Vitale e Classe: aggiornamento al 2006.” (In stampa).

Duchaufour, 1965. Précis de pédologie. Masson, Paris, 481 p.

Duchaufour, 1970. Précis de pédologie (III ed). Masson et C.ie, Paris.

- Duchaufour, 1983. *Pédogenèse et classification*, 1. Masson et C^{ie}, Paris.
- European Environmental Agency, 1995. *Europe's Environment: the Dobris Assessment*, Copenhagen.
- ESRI, 1996. *Using ArcView® GIS*. ESRI Inc.
- Fabbri P., 1987. Le bonifiche d'età moderna. In: *Costruire un territorio - Cartografia e fotografia delle bonifiche ravennati*. Longo Editore, Ravenna, p. 7-31.
- Fabbri P., Missiroli A., 1998. *Le Pinete ravennati – Storia di un bosco e di una città*. Longo Editore, Ravenna, 382 p.
- FAO, ISRIC, ISSS, 1998. *World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Report, No. 84*. FAO, Rome.
- Ferrara V., 2005. Climate Change and its Impact in the Mediterranean Coastal Zone. In: *Proceedings of the Sixth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 03, 7-11 October 2003*, v. 4. p. 82-97. G. Gabbianelli & F. Sangiorgi (editors).
- Foregs Geochemical Atlas, 2006. In: www.gtk.fi/publ/foregsatlas (verificato il 28/05/2007).
- Franzini M., Leoni L. e Saitta M., 1972. A simple method to evaluate the matrix effects in X-ray fluorescence analysis. *X-Ray Spectrometry*, v. 1, p. 151-154.
- Franzini M., Leoni L. e Saitta M., 1975. Revisione di una metodologia analitica per la fluorescenza-X basata sulla correzione completa degli effetti di matrice. *Rendiconti Società Italiana Mineralogica e Petrologica*, v. 31, p. 365-378.
- Gallamini D., 2006. *Caratterizzazione ambientale della Pineta San Vitale: aspetti geochimici e idrologici*. Tesi di laurea specialistica in Scienze per l'Ambiente e il Territorio. A.A. 2005/2006. Università di Bologna.
- Gambolati G., Teatini P., 1998. Numerical analysis of land subsidence due to natural compaction of the upper Adriatic Sea basin. In : Gambolati G. (ed.) *CENAS, Coastal evolution of the upper Adriatic sea due to level sea rise and natural and anthropogenic land subsidence*. Kluwer Academic Publishing, Water Science & Technology Library n. 26, p. 103-131.
- Ganatsas P. P., Tsakalimi M. N., 2007. Effect of light conditions and salinity on germination behaviour and early growth of umbrella pine (*Pinus pinea* L.) seed. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, v. 82, n. 4, p. 605-610.
- Georgiou G., 1996. *Progetto per il risanamento e la gestione naturalistica della Pineta di Classe - Settori: Climatologia, idrogeologia, idrografia e pedologia*. Relazione.

Giambastiani B. M. S., 2006. Evoluzione idrologica ed idrogeologica della Pineta di San Vitale (Ravenna). Tesi di Dottorato di Ricerca in Scienze Ambientali, XIX Ciclo, A/A 2006-2007, Università di Bologna.

Giardini L., 1986. Agronomia generale. Patron editore, Bologna, 597 p.

Ginanni F., 1774. Istoria civile e naturale delle pinete ravennati. Salomoni, Roma.

Giordano A., 2002. Pedologia, UTET, Torino.

Giovannini A., 1998. Problematiche idrogeologiche in zone di bassa pianura e litoranee, loro ricadute sull'ambiente fisico e sulle risorse territoriali. Tesi di Dottorato di Ricerca in Geologia Applicata, Università di Ferrara, 100 pp.

Guang-Ming L., Jing-Song Y., Rong-Jiang Y., 2006. Electrical Conductivity in Soil Extracts: Chemical Factors and Their Intensity. *Pedosphere*, v. 16, p. 100-107.

Gupta U. C., 1979. Boron nutrition of crops. *Adv. In Agron*, v. 31, p. 273-307.

Gupta U. C., Cutcliffe J. A., 1972. Effects of lime and boron on brown-heart, leaf tissue calcium/boron ratios, and boron concentrations of rutabaga. *Soil Science Society of America Journal*, v. 36, p. 936-939.

He Q.B. and Singh B.R., 1993. Effect of organic matter on the distribution, extractability and uptake of cadmium in soils. *Journal of Soil Science*, v. 44, p. 641-650.

Heiri O., Lotter A. F. e Lemke G., 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *J. Paleolim.*, v. 25, p.101-110.

Holten-Andersen, J., Paalby, H., Christensen, N., Wier, M., Andersen, F.M., 1995. Recommendations on strategies for integrated assessment of broad environmental problems. Report submitted to the European Environment Agency (EEA) by the National Environmental Research Institute (NERI), Denmark.

Idroser, 1985. Analisi dell'ecosistema Bosco della Mesola-Valle Falce e definizione di un sistema di controllo per la gestione ottimale - Relazione generale. Regione Emilia-Romagna, Bologna.

Idroser, 1996. Progetto di piano per la difesa dal mare e la riqualificazione ambientale del litorale della Regione Emilia-Romagna. Relazione Generale, Regione Emilia-Romagna, Bologna.

IUSS Working Group WRB, 2006. Word Reference Base for Soil Resources 2006. 2nd ed. World Soil Resources Report, No. 103. FAO, Rome.

Jenny H., 1994. Factors of soil formation – A system of quantitative Pedology. Dover Publication, Inc, New York.

Kabata-Pendias A., 2001. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 413 p.

Leoni L., Saitta M., 1976. X-ray fluorescence analysis of 29 trace elements in rock and mineral standard. *Rendiconti Società Italiana Mineralogica e Petrologica*, v. 32, p. 497-510.

Loska K., Wiechula D., Korus I., 2004. Metal contamination of farming soils affected by industry. *Environment International*, v. 30, p. 159-165.

Liaghati, T., Preda M., Cox M., 2003. Heavy metal distribution and controlling factors within coastal plain sediments, Bells Creek catchment, southeast Queensland, Australia. *Environment International*, v.29, p. 935- 948.

Mango H.N., 1999. Silver: Element and geochemistry. In: C.P. Marshall & R.W. Fairbridge (Eds.), *Encyclopedia of Geochemistry*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Germany, p. 575-577.

Matschullat J., Ottenstein R., Reimann C., 2000. Geochemical background – can we calculate it? *Environmental Geology*, v. 39, p. 990-1000.

Merkel B. J., Planer-Friedrich B., 2005. *Groundwater geochemistry*, Springer Edition, UK.

MiPAF, Osservatorio Nazionale Pedologico per la Qualità del suolo, 1997. *Metodi di Analisi Fisica del Suolo*. Collana di metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi. Franco Angeli Ed.

MiPAF, Osservatorio Nazionale Pedologico per la Qualità del suolo, 2000. *Metodi di Analisi Chimica del Suolo*. Collana di metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi. Franco Angeli Ed.

MiPAF, Osservatorio Nazionale Pedologico per la Qualità del suolo, 2001. *Metodi di Analisi delle Acque per uso Agricolo e Zootecnico*. Collana di metodi analitici per l'agricoltura diretta da Paolo Sequi. Franco Angeli Ed.

MiPAF, Osservatorio Nazionale Pedologico per la Qualità del suolo, 2006. *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*. Coordinatore Edoardo A. C. Costantini. Edizioni Cantagalli.

Mollema P., Giambastiani B., Ulazzi E., Gabbianelli G., 2005. The influence of Climate Change on the Water Budget in the Regional Park of the Po River Delta. *Proceedings of the Sixth international Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 03*, 7 -11 October 2003, v. 4. p. 82-97. G. Gabbianelli & F. Sangiorgi (editors).

Monteleone M., Del Vecchio S., Basso G., Gucci G., De Caro A., 2003. Stima della conducibilità elettrica dell'estratto in pasta satura in base a differenti rapporti di diluizione dei campioni di terreno. *Atti del XXXV Convegno S.I.A.*

Moral R., Gilkes R. J. and Jordan, 2005. Distribution of heavy metals in calcareous and non-calcareous soil in Spain. *Water, Air, and Soil Pollution*, v. 162, p. 127–142.

Munsell, 2000. *Soil color charts*. Gretagmacbeth, New Windsor, NY.

Nardi S., 1987. Le bonifiche nel secolo XIX e la Cassa di colmata del Lamone. In: *Costruire un territorio - Cartografia e fotografia delle bonifiche ravennati*. Longo Editore, Ravenna. p. 71-83.

Olson G.W., 1981. *Soil and the environment. A guide to soil surveys and their applications*. Chapman and Hall, New York.

Padula M., 1968. Ricerche sulle condizioni ecologiche dei boschi di San Vitale e di Classe (Ravenna), ai fini del loro miglioramento colturale, con saggi di esame degli apparati radicali di *Pinus* e *Quercus*. *Annali dell'Accademia italiana di scienze forestali*, v. 17 p. 174-246.

Pellegrini L., 2005. Caratterizzazione idrologica dell'aquifero freatico della Pineta di Classe (Ravenna). Tesi di laurea specialistica in Scienze per l'Ambiente e il Territorio. A.A. 2004/2005. Università di Bologna.

Piazzi M., 1988. I suoli delle principali formazioni geomorfologiche della Pineta di S. Vitale. Tesi di laurea in Scienze Forestali. A.A. 1987/1988. Università di Torino.

Piccoli F., Gerold R., Ferrari C., 1991. Vegetation Map of St. Vitale pinewood (Nothorn Adriatic coast, Italy). *Phytocoenosis*, p. 337-342.

Piccoli F., Corticelli S., Merloni N., 1999a. Carta della vegetazione del Parco Regionale del Delta del Po. Stazione Pineta di San Vitale e Piallasse di Ravenna in scala 1:25.000. Selca, Firenze.

Piccoli F., Corticelli S., Merloni N., 1999b. Carta della vegetazione del Parco Regionale del Delta del Po. Stazione Pineta di Classe e Saline di Cervia in scala 1:25.000. Selca, Firenze.

Pinna M., 1977. *Climatologia*. UTET, Torino.

Pirola A., 1974. Commento alla carta della vegetazione della Pineta di S. Vitale. In: *Influenza di insediamenti industriali sul circostante ambiente naturale - Studio sulla Pineta di San Vitale di Ravenna a cura di R. E. Scossioli*. Editrice Compositori, Bologna.

Preti M., 1999. The Holocene transgression and the land-sea interaction south of the Po delta. *Giornale di Geologia*, v. 61, p. 143-159.

Preti M., 2000. Eustatismo, subsidenza e linee di intervento per la difesa del territorio costiero in Emilia-Romagna. *Mare e cambiamenti globali*, ICRAM, ARPA – Ingegneria Ambientale, Bologna, p. 167-179.

Ranjan S. P., Kasama S., Sawamoto M., 2006. Effects of climate and use change on groundwater resources in coastal aquifers. *Journal of Environmental Management*, v. 80, p. 25-35.

Regione Emilia-Romagna, 1994. I suoli dell'Emilia-Romagna. Servizio Cartografico – Ufficio Pedologico.

Regione Emilia-Romagna, 1999. Note illustrative Carta Geologica d'Italia – Scala 1:50000 – Ravenna. A cura di A. Amorosi, p. 144, Ist. Poligrafico e Zecca dello Stato Ed., Roma.

Regione Emilia-Romagna, 2006. Uso del Suolo 2003 – Coperture vettoriali 1:25000. Servizio sistemi informativi geografici.

Regione Emilia-Romagna, 2003. Piano di tutela delle acque. Documento Preliminare (art. 25 L.R. 20/2000), Relazione generale comprensiva del quadro conoscitivo, Arpa – Ingegneria Ambientale, Regione Emilia-Romagna.

Regione Emilia-Romagna, 2004. Relazione sullo stato dell'Ambiente della Regione Emilia-Romagna. ARPA, Regione Emilia-Romagna.

Regione Emilia-Romagna, Parco Regionale del Delta del Po, Comune di Ravenna, 1995. Interventi di ricostruzione della Pineta di San Vitale. Elaborazione Rigoni P. Consulenza tecnica.

Regione Emilia-Romagna, Parco Regionale del Delta del Po, Comune di Ravenna, 1999. Interventi di forestazione nella Pineta di Classe – 1^a, 2^a, 3^a, 4^a fase. Elaborazione Rigoni P. Progetto esecutivo.

Regione Emilia-Romagna, Parco Regionale del Delta del Po, Comune di Ravenna, 2001. Interventi di forestazione nella Pineta di Classe – Programma regionale 2001. Elaborazione Rigoni P. Progetto esecutivo.

Reimann C., Siewersb U., Tarvainenc T., Bityukovad L., Erikssone J., Gilucisf A., Gregorauskieneg V., Lukashev V., Matiniani N. N. and Pasiecznaj A., 2000. Baltic soil survey: total concentrations of major and selected trace elements in arable soils from 10 countries around the Baltic Sea. *The Science of the Total Environment*, v. 257, p.155-170.

Rhoades J. D., Chanduvi F., Lesch S., 1999. Soil Salinity Assesment : Methods and Interpretation of Electrical Conductivity Measurement. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 57. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 166 p.

Richardson, J.L., Arndt, J.L., Montgomery, J.A., 2001. Hydrology of wetland and related soils. In: Richardson, J.L. Vepraskas, M.J. (Eds.), *Wetlands Soils*. Lewis Publishers, CRC Press, Boca Raton, USA, p. 35–84.

Roncuzzi A., Veggi L., 1968. Nuovi studi sull'antica topografia del territorio ravennate. In: Bollettino Economico della Camera di Commercio di Ravenna n. 13, p. 193-201.

Salvioni G., 1957. I movimenti del suolo nell'Italia centro-settentrionale. In: Bollettino di geodesia e scienze affini. v. XVI, p. 325-366.

Sammartino I., 2004. Heavy-metal anomalies and bioavailability from soils of southeastern Po Plain. *Geo. Acta*, v. 3, p. 35-42.

Sammartino I., Amorosi A., Dinelli E. e Lucchini F., 2002. Subsurface sediments as a tool to estimate regional background: validation and application in the eastern Po Plain. In: *Geochim. et Cosmochim. Acta Proceeding of 12th Goldschmidt Conference*, August 18-23, 2002, A664 Davos, Switzerland.

Sandri G., 1954. I terreni delle dune antiche del Delta Padano. *L'Italia Forestale e Montana*, v. IX, p. 34-40.

Sandri G., 1956. I terreni delle pinete di S. Vitale e di Classe (Ravenna). *Annali dell'Accademia Italiana di Scienze Forestali*, v. XI, p. 295-313.

Sandri G., 1974. Caratteristiche pedologiche dei terreni della Pineta di S. Vitale. In: *Influenza di insediamenti industriali sul circostante ambiente naturale - Studio sulla Pineta di San Vitale di Ravenna*. Editrice Compositori, Bologna.

Sandri G., Casalicchio G., 1970. Il contenuto di boro nei terreni sabbiosi del litorale ferrarese-ravennate. *Annali dell'Accademia Nazionale di Agricoltura*, fasc. 3, serie IV, v. XC, p. 265-276, Bologna.

Saur E., Lambrot C., Loustau D., Rotival N., Trichet P., 1995. Growth and uptake of mineral elements in response to sodium chloride of three provenance of maritime pine. *Journal of plant nutrition*. v.18, n. 2, p. 243-256.

Saxton K. E., 2003. Soil water characteristics, Version 6.02.70. A computer program for calculating soil properties. USDA Agricultural Research Service and Department of Biological System Engineering, Washington State University. (<http://www.bsyse.wsu.edu/saxton/>).

Sbaraglia M., Lucci E., 1994. Guida all'interpretazione delle analisi del terreno ed alla fertilizzazione. *Studio Pedon*, Pomezia (Roma), 123 p.

Schoeneberger P.J., Wysocki D.A., Benham E.C. and Broderson W.D. (editors), 2002. Field book for describing and sampling soils, Ver. 2.0. National Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.

Scossiroli R. E., 1974. Influenza di insediamenti industriali sul circostante ambiente naturale - Studio sulla Pineta di San Vitale di Ravenna. Editrice Compositori, Bologna.

Sequi P., 1989. Chimica del terreno. Ed. 1991, Patron Editore, Bologna.

Simeoni. U., Tessari U., Zamariolo A., Gabbianelli G., Del Grande C., Gonnella M., Polo P., Atzeni P., Anconetani P., Pellizzari M., 2000. Studio dell'Ancona e delle Vene di Bellocchio e del litorale tra Porto Garibaldi e Porto Corsini: proposta di sistemazione ambientale. Rapporto conclusivo, Ferrara University Press, 161 pp.

Simeoni. U., Atzeni P., Bonora N., Borasio E., Del Grande C., Gabbianelli G., Gonnella M., Tessari U., Valpreda E., Zamariolo A., 2002. Integrated management Study of Comacchio Coast (Italy). Journal of Coastal Research, S.I. 36, p. 686-693.

Sixto H., Aranda I., Grau J. M., 2006. Assesment of salt tolerance in *Populus alba* clones using chlorophyll fluorescence. Photosynthetica, v. 44, p. 169-173.

Skoog A., Leary J., 1992. Chimica analitica strumentale. Edises, Napoli, 1995.

Soil Survey Division Staff, 1993. Soil Survey Manual. USDA.

Soil Survey Staff, 2003. Keys to Soil Taxonomy, 9th edition, USDA - NRCS, Washington D.C.

Soil Survey Staff, 2006. Keys to Soil Taxonomy, 10th edition, USDA - NRCS, Washington D.C.

Starr M., 1999. Watbal: A model for estimating monthly water balance components, including soil water fluxes. In: Kleemola S. & Forsius M. (eds.), 8th Annual Report, 1999. UN ECE ICP Integrated Monitoring. The Finnish Environment.

Sutherland R.A., 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. Environmental Geology 39, 6.

Teatini P., Ferronato M., Gambolati G., Bretoni W., Gonnella M., 2005. A century of land subsidence in Ravenna, Italy. Environ. Geol. v. 47, p. 831-846.

Teobaldelli M., Mencuccini M., Pissi P., 2004. Water table salinity, rainfall and water use by umbrella pine tree (*Pinus pinea* L.). Plant Ecology, v. 171. p. 23-33.

Thornthwaite C. W., Mather J. R., 1957. Instructions and tables for computing Potential Evapotranspiration and the water balance. Publications in Climatology, John Hopkins University. v. 10, No. 3.

Titarelli F., Canali S., Benedetti A., 1995. Le analisi del terreno. In: Guida alla lettura ed interpretazione del CBPA per la protezione delle acque dai nitrati. Quaderno n.2, pp. 223-228, P.F. Panda, MiRAAF, Ed agricole, BO.

Ugolini P., 1997. Il fenomeno dell'ingressione salina: un contributo alla caratterizzazione della Pineta di San Vitale. Tesi di laurea in Scienze Ambientali. A.A. 1996/1997. Università di Bologna.

Ulazzi E., Antonellini M., Gabbianelli G., 2005. Saltwater Intrusion in the Unconfined Coastal Aquifer of Cervia (Italy). In: Proceedings of the Sixth

International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 03, 7-11 October 2003, v. 4. p. 82-97. G. Gabbianelli & F. Sangiorgi (editors).

UNESCO, 1983. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. Unesco technical papers in marine science 44, Unesco/SCOR/ICES/IAPSO Joint Panel on Oceanographic Tables and Standard and SCOR Working Group 51.

United States Salinity Laboratory Staff, 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agriculture Handbook No. 60. L. A. Richards Editors.

Van Wambeke A., Hastings P., Tolomeo M., 1986. Newhall simulation model: a Basic Program for the IBM PC. Department of Agronomy, Cornell University. Ithaca, NY.

Veggiani A., 1974. Le ultime vicende geologiche del ravennate. In: Influenza di insediamenti industriali sul circostante ambiente naturale – Studio sulla Pineta di San Vitale di Ravenna a cura di R. E. Scossioli. Editrice Compositori, Bologna.

Violante P., 2005. Chimica del suolo e della nutrizione delle piante. Edagricole, Bologna.

Wear J. L., Patterson R. M., 1962. Effect of soil pH and texture on the availability of water-soluble boron in the soil. Soil Science Society of America Journal, v. 26, p. 344-346.

Zangheri. P, 1936. Flora e vegetazione delle pinete ravennati e dei territori limitrofi tra queste e il mare. Arnaldo Forni Editore, Forlì.

Zito R., 2007. Indagine sull'arricchimento dei microtossici in suoli a nord del Comune di Ravenna. Tesi di laurea specialistica in Scienze per l'Ambiente e il Territorio. A.A. 2006/2007. Università di Bologna.

SITI INTERNET CONSULTATI:

<http://www.arpa.emr.it/>

<http://cdiac.esd.ornl.gov/>

<http://www.fao.org/>

<http://www.gias.net/>

<http://www.regione.emilia-romagna.it/>

<http://www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/>

<http://www.usda.gov/>

ALLEGATO 1

SCHEDE PEDOLOGICHE PINETA DI SAN VITALE

Profili

- Scheda pedologica profilo SV1
- Scheda pedologica profilo SV2
- Scheda pedologica profilo SV3
- Scheda pedologica profilo Vecchia4
- Scheda pedologica profilo Vecchia5
- Scheda pedologica profilo Vecchia6
- Scheda pedologica profilo Nova7
- Scheda pedologica profilo 4Occhi8
- Scheda pedologica profilo 4Occhi9
- Scheda pedologica profilo 4Occhi10
- Scheda pedologica profilo 4Occhi11
- Scheda pedologica profilo 2Giugno
- Scheda pedologica profilo Canala1
- Scheda pedologica profilo SVN1
- Scheda pedologica profilo SVN2
- Scheda pedologica profilo SVN3
- Scheda pedologica profilo SV4
- Scheda pedologica profilo PZ1
- Scheda pedologica profilo PZ3
- Scheda pedologica profilo PZ4
- Scheda pedologica profilo PZ7
- Foto profilo e paesaggio del sito SV30

SCHEDE PEDOLOGICHE AREA BOSCATI DI BELLOCCHIO

Profili


- Scheda pedologica profilo BEL1
- Scheda pedologica profilo BEL2
- Scheda pedologica profilo BEL3
- Scheda pedologica profilo BEL4
- Scheda pedologica profilo BEL5
- Scheda pedologica profilo BEL6
- Scheda pedologica profilo BEL7
- Scheda pedologica profilo BEL8
- Scheda pedologica profilo BEL9
- Scheda pedologica profilo BEL10
- Scheda pedologica profilo BEL11
- Scheda pedologica profilo BEL12
- Scheda pedologica profilo BELT1

Scheda pedologica profilo SV1

PROFILO	ST (SSS, 2006)	<i>Mixed, calcareous, mesic (SODIC) TYPIC PSAMMAQUENTS</i>	
SV1	WRB(IUSS, 2006)		

<i>Data rilievo</i>	25/03/2004		Oi: 1-0 cm; lettiera poco decomposta costituita da foglie e residui erbacei; limite abrupto ondulato. Ap: 0-7/12 cm; umido; bruno grigiastro scuro (2,5Y 4/2 - umido) e bruno grigiastro (10YR 5/2 - secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), moderatamente duro (secco); non adesivo; debolmente plastico; radici erbacee, comuni, fini; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite chiaro ondulato. A: 7/12-20/22 cm; umido; bruno grigiastro molto scuro (2,5Y 3/2 - umido) e bruno grigiastro scuro (10YR 4/2 - secco); tessitura sabbiosa; struttura grumosa, fine, debolmente aggregata, tendente all'incoerente; friabile (umido), soffice (secco); non adesivo; debolmente plastico; radici erbacee, comuni, fini e legnose, poche, fini; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite chiaro irregolare. A/C: 20/22-32 cm; umido; bruno grigiastro scuro (2,5Y 4/2 - umido) e bruno grigiastro (2,5Y 5/2 - secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), duro (secco); non adesivo; debolmente plastico; radici erbacee, poche, medie; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; limite chiaro lineare. C1: 32-42 cm; umido; bruno grigiastro (2,5Y 5/2 - umido) e grigio brunastro chiaro (2,5Y 6/2 - secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), duro (secco); non adesivo; debolmente plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; limite chiaro lineare. Cg1: 42-52 cm; molto umido; grigio (2,5Y 5/1 - umido) e grigio chiaro (2,5Y 7/2 - secco); screziature comuni, deboli, bruno giallastro scuro (10YR 4/4 - umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), duro (secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; limite chiaro lineare. Cg2: 52-80+ cm; bagnato; bruno grigiastro scuro (2,5Y 4/2 - umido) e grigio chiaro (2,5Y 7/1 - secco); screziature poche, marcate, grigio brunastro scuro (GLE Y2 4/5B - umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), duro (secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; limite sconosciuto. Falda presente a - 52 cm dal piano di campagna.
Regione	Emilia – Romagna		
Provincia	Ravenna		
Comune	Ravenna		
Località	Pineta San Vitale		
<i>Coordinate WGS84 UTM fuso 33</i>	279937	<i>m EST</i>	
	492853 3	<i>m NORD</i>	
<i>Quota</i>	1	<i>m.s.l.m.</i>	
<i>Inclinazione versante</i>	-	%	
	-	Gradi	
<i>Esposizione del versante</i>	-	Gradi	
	-	Direzion e	
<i>Fisiografia e morfologia</i>	Interduna		
<i>Erosione / deposizione</i>			
<i>Rocciosità</i>	Assente		
<i>Pietrosità</i>	Assente		
<i>Aspetti superficiali</i>	Probabile terreno di riporto superficiale		
<i>Uso del suolo/vegetazione</i>			
<i>Regime di umidità</i>	Ustico		
<i>Regime di temperatura</i>	Mesico		
<i>Substrato pedogenetico o litologia</i>	Sabbie		





Scheda pedologica profilo SV2

PROFILO	ST (SSS, 2006)	<i>Mixed, calcareous, mesic (SODIC) TYPIC PSAMMAQUEUNTS</i>
SV2	WRB (IUSS, 2006)	<i>Calcaric ARENOSOLS</i>

Data rilievo	25/03/2004		Oi: 3-1 cm; lettiera poco decomposta costituita da essenze erbacee; limite abrupto irregolare. Oa: 1-0 cm; lettiera molto decomposta costituita da essenze erbacee; limite abrupto ondulato. A: 0-3 cm; molto umido; nero (2,5Y 2,5/1 – umido) e grigio molto scuro (2,5Y 3/1 – secco); tessitura sabbiosa; pochi gusci di conchiglie; foglietti micacei evidenti; struttura grumosa fine, debolmente aggregata, tendente all’incoerente; friabile (umido), debolmente duro (secco); non adesivo; poco plastico; radici erbacee, abbondanti, fini e molto fini; pori interstiziali; effervescenza all’HCl debole; limite abrupto lineare. Ag: 3-17 cm; molto umido; bruno grigiastro scuro (2,5Y 4/2 – umido) e bruno grigiastro scuro (2,5Y 4/2 – secco); screziature abbondanti, grandi, distinte, brune giallastre scure (10YR 4/6 - umido) e comuni, grandi, distinte, grigie molto scure (2,5Y 3/1 - umido); tessitura sabbiosa; pochi gusci di conchiglie; foglietti micacei evidenti; struttura incoerente; friabile (umido), moderatamente duro (secco); poco adesivo; poco plastico; radici erbacee, comuni, molto fini; pori interstiziali; effervescenza all’HCl forte; limite abrupto lineare. Cg: 17-26+ cm; molto umido; bruno oliva chiaro (2,5Y 5/3 - umido) e bruno oliva chiaro (2,5Y 5/3 – secco); screziature abbondanti, grandi, distinte, brune giallastre scure (10YR 4/6 - umido) e comuni, grandi, distinte, grigie molto scure (2,5Y 3/1 - umido); tessitura sabbiosa; pochi gusci di conchiglie; foglietti micacei evidenti; struttura incoerente; friabile (umido), moderatamente duro (secco); poco adesivo; poco plastico; radici erbacee, poche, molto fini; pori interstiziali; frammenti legnosi torbificati; effervescenza all’HCl forte; limite sconosciuto.
Regione	Emilia – Romagna		
Provincia	Ravenna		
Comune	Ravenna		
Località	Pineta San Vitale		
Coordinate WGS84 UTM fuso 33	280263	m EST	
	492852 2	m NORD	
Quota	0	m.s.l.m.	
Inclinazione versante	-	%	
	-	Gradi	
Esposizione del versante	-	Gradi	
	-	Direzion e	
Fisiografia e morfologia	Depressione		
Erosione / deposizione			
Rocciosità	Assente		
Pietrosità	Assente		
Aspetti superficiali			
Uso del suolo/vegetazione			
Regime di umidità	Aquico		
Regime di temperatura	Mesico		
Substrato pedogenetico o litologia	Sabbie		

Falda presente a – 26 cm dal piano di campagna.





Scheda pedologica profilo SV3

PROFILO SV3	ST (SSS, 2006)	Mixed, calcareous, mesic TYPIC USTIPSAMMENTS	
	WRB(IUSS, 2006)	Haplic ARENOSOLS	
Data rilievo	25/03/2004	<p>Oi: 3-1 cm; lettiera poco decomposta costituita da foglie e residui erbacei; limite abrupto lineare.</p> <p>Oe: 1-0 cm; lettiera parzialmente decomposta costituita da residui vegetali; limite abrupto ondulato.</p> <p>A1: 0-7/10 cm; umido; bruno molto scuro (10YR 2/2- umido) e bruno grigiastro molto scuro (10YR 3/2 –secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), soffice (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, molte, fini e molto fini; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite chiaro ondulato.</p> <p>A2: 7/10-14/20 cm; poco umido; bruno (10YR 4/3 – umido) e bruno oliva (2,5Y 4/3 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; debolmente friabile (umido), duro (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, poche, fini; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite abrupto lineare.</p> <p>A/C: 14/20-40 cm; poco umido; bruno (10YR 5/3 – umido) e grigio brunastro chiaro (2,5Y 6/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), debolmente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, poche, fini e medie; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; limite chiaro ondulato.</p> <p>C1: 40-60+ cm; poco umido; bruno grigiastro (10YR 5/2 – umido) e grigio brunastro chiaro (2,5Y 6/2 –secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), debolmente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; limite chiaro lineare.</p> <p>C2: 60-100 cm; poco umido; bruno grigiastro scuro (2,5Y 4/2 – umido) e grigio brunastro chiaro (2,5Y 6/2 –secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), debolmente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; limite chiaro lineare.</p> <p>C3: 100-150+ cm; umido; bruno grigiastro scuro (2,5Y 4/2 – umido) e bruno giallastro chiaro (2,5Y 6/3 –secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), debolmente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; limite graduale lineare.</p> <p>C4: 150-183 cm; molto umido; bruno grigiastro scuro (2,5Y 4/2 – umido) e bruno giallastro chiaro (2,5Y 6/3 –secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), debolmente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; limite graduale lineare.</p> <p>C5: 183-210+ cm; bagnato; bruno grigiastro scuro (2,5Y 4/2 – umido) e bruno giallastro chiaro (2,5Y 6/3 –secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), debolmente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; limite sconosciuto.</p> <p>Falda presente a – 183 cm dal piano di campagna.</p>	
Regione	Emilia – Romagna		
Provincia	Ravenna		
Comune	Ravenna		
Località	Pineta San Vitale		
Coordinate WGS84 UTM fuso 33	280211	m	EST
	492883 4	m	NORD
Quota	2	m.s.l.m.	
Inclinazione versante	-	%	
	-	Gradi	
Esposizione del versante	-	Gradi	
	-	Direzion e	
Fisiografia e morfologia	Sommità dunale		
Erosione / deposizione			
Rocciosità	Assente		
Pietrosità	Assente		
Aspetti superficiali			
Uso del suolo/ vegetazione			
Regime di umidità	Ustico		
Regime di temperatura	Mesico		
Substrato pedogenetico o litologia	Sabbie		





Scheda pedologica profilo Vecchia4

PROFILO	ST (SSS, 2006)	Mixed, calcareosus, mesic TYPIC USTIPSAMMENTS
Vecchia4	WRB (IUSS, 2006)	Haplic ARENOSOLS

Data rilievo	31/03/2004	Oi: 1-0 cm; lettiera poco decomposta costituita da foglie e residui erbacei; limite abrupto lineare.	
Regione	Emilia – Romagna	A1: 0-3/7 cm; poco umido; bruno grigiastro molto scuro (10YR 3/2 – umido) e bruno grigiastro scuro (10YR 4/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), soffice (secco); non adesivo; poco plastico; radici erbacee, comuni, fini e molto fini; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite chiaro ondulato.	
Provincia	Ravenna	A2: 3/7–19 cm; poco umido; bruno (10YR 5/3 – umido) e grigio brunastro chiaro (2,5Y 6/2 secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), debolmente duro (secco); non adesivo; poco plastico; radici erbacee, poche, fini e legnose, molto poche, fini; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite graduale lineare.	
Comune	Ravenna	A/C: 19-51 cm; poco umido; bruno oliva (2,5Y 4/3 – umido) e bruno grigiastro chiaro (2,5Y 6/2 - secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), debolmente duro (secco); poco adesivo; poco plastico; radici erbacee, molto poche, fini e legnose, molto poche, medie; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite abrupto lineare.	
Località	Pineta San Vitale	C1: 51-78 cm; poco umido; bruno oliva chiaro (2,5Y 5/3 – umido) e bruno grigiastro chiaro (2,5Y 6/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), debolmente duro (secco); non adesivo; poco plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite graduale lineare.	
Coordinate WGS84 UTM fuso 33	280302 493201 1	m EST m NORD	2C1: 78-130 cm; poco umido; bruno grigiastro scuro (2,5Y 4/2 – umido) e grigio brunastro chiaro (2,5Y 6/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), debolmente duro (secco); non adesivo; poco plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; limite graduale lineare.
Quota	2	m.s.l.m.	2C2: 130-170+ cm; poco umido; grigio scuro (2,5Y 4/1 – umido) e grigio brunastro chiaro (2,5Y 6/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), debolmente duro (secco); non adesivo; poco plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; limite sconosciuto.
Inclinazione versante	-	%	
	-	Gradi	
Esposizione del versante	-	Gradi	
	-	Direzione	
Fisiografia e morfologia	Sommità duna		
Erosione / deposizione			
Rocciosità	Assente		
Pietrosità	Assente		
Aspetti superficiali			
Uso del suolo/vegetazione			
Regime di umidità	Ustico		
Regime di temperatura	Mesico		
Substrato pedogenetico o litologia	Sabbie		
			



Scheda pedologica profilo Vecchia5

PROFILO	ST (SSS, 2006)	<i>Mixed, calcareous, mesic (SODIC) MOLLIC PSAMMAQUENTS</i>
Vecchia5	WRB (IUSS, 2006)	<i>Calcaric ARENOSOLS</i>

Data rilievo	31/03/2004		Oi: 2-0 cm; lettiera poco decomposta costituita da residui vegetali ed aghi di pino; limite abrupto ondulato. A1: 0-4/7 cm; umido; grigio molto scuro (2,5Y 3/1 – umido) e bruno grigiastro molto scuro (10YR 3/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), soffice (secco); non adesivo; poco plastico; radici erbacee, comuni, fini; pori interstiziali; effervescenza all’HCl debole; limite chiaro lineare. A2: 4/7-34 cm; umido; grigio molto scuro (2,5Y 3/1 – umido) e bruno grigiastro scuro (10YR 4/2 - secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), debolmente duro (secco); non adesivo; poco plastico; radici legnose, poche, medie e grosse; pori interstiziali; effervescenza all’HCl forte; limite chiaro lineare. Cg: 34-73+ cm; umido; bruno oliva (2,5Y 4/3 – umido) e bruno giallastro chiaro (2,5Y 6/3 – secco); screziature comuni, medie, distinte, bruno scure (7,5YR 5/8 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), debolmente duro (secco); non adesivo; poco plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all’HCl forte; limite sconosciuto. Falda presente a – 68 cm dal piano di campagna.
Regione	Emilia – Romagna		
Provincia	Ravenna		
Comune	Ravenna		
Località	Pineta San Vitale		
Coordinate WGS84 UTM fuso 33	280333	m EST	
	493152 3	m NORD	
Quota	1	m.s.l.m.	
Inclinazione versante	-	%	
	-	Gradi	
Esposizione del versante	-	Gradi	
	-	Direzion e	
Fisiografia e morfologia	Interduna		
Erosione / deposizione			
Rocciosità	Assente		
Pietrosità	Assente		
Aspetti superficiali			
Uso del suolo/vegetazione			
Regime di umidità	Aquico		
Regime di temperatura	Mesico		
Substrato pedogenetico o litologia	Sabbie		
			

Scheda pedologica profilo Vecchia6


PROFILO	ST (SSS, 2006)	<i>Mixed, calcareous, mesic (SODIC) MOLLIC PSAMMAQUENTS</i>
Vecchia6	WRB(IUSS, 2006)	<i>Calcaric ARENOSOLS</i>


Data rilievo	31/03/2004	<p>Oi: 3-0 cm; lettiera poco decomposta costituita da foglie e rametti; limite abrupto ondulato.</p> <p>A: 0-7/8 cm; molto umido; nero (2,5Y 2,5/1 - umido) e grigio molto scuro (10Y 3/1 - secco); tessitura sabbiosa; presenza di poche conchiglie; struttura incoerente; friabile (umido), debolmente duro (secco); non adesivo; moderatamente plastico; radici erbacee, comuni, fini e legnose, poche, fini; residui vegetali, comuni, poco alterati; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite abrupto lineare.</p> <p>Cg: 7/8-24+ cm; bagnato; nero (10YR 2/1 - umido) e grigio scuro (10YR 4/1 - secco); tessitura sabbiosa; comuni gusci di conchiglie; screziature comuni, distinte, brune (10YR 4/6 - umido); struttura incoerente; friabile (umido), debolmente duro (secco); non adesivo, moderatamente plastico; radici legnose, molto poche, medie; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite sconosciuto.</p> <p>Falda presente a – 18 cm dal piano di campagna.</p>
Regione	Emilia – Romagna	
Provincia	Ravenna	
Comune	Ravenna	
Località	Pineta San Vitale	
Coordinate WGS84 UTM fuso 33	279885 m EST 493224 m NORD 2	
Quota	0 m.s.l.m.	
Inclinazione versante	- % - Gradi	
Esposizione del versante	- Gradi - Direzione	
Fisiografia e morfologia	Depressione	
Erosione / deposizione		
Rocciosità	Assente	
Pietrosità	Assente	
Aspetti superficiali		
Uso del suolo/vegetazione		
Regime di umidità		
Regime di temperatura		
Substrato pedogenetico o litologia	Sabbie	
		

Scheda pedologica profilo Nova7

PROFILO	ST (SSS, 2006)	<i>Mixed, mesic (SODIC) MOLLIC PSAMMAQUENTS</i>
Nova7	WRB (IUSS, 2006)	<i>Calcaric ARENOSOLS</i>

Data rilievo	01/04/2004		Oi: 2-0 cm; lettiera poco decomposta costituita da aghi di pino, foglie e residui vegetali; limite abrupto lineare. A1: 0-4/7 cm; umido; bruno grigiastro molto scuro (10YR 3/2 – umido) e grigio scuro (7,5YR 4/1 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), soffice (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, molte, fini e molto fini; pori interstiziali; effervescenza all’HCl molto debole; limite chiaro ondulato. A2: 4/7-21 cm; umido; bruno grigiastro molto scuro (10YR 3/2 – umido) e bruno grigiastro scuro (10YR 4/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), moderatamente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, comuni, fini e medie e legnose poche, medie; pori interstiziali; effervescenza all’HCl debole; limite chiaro lineare. Cg1: 21-53 cm; molto umido; bruno oliva (2,5Y 4/3 – umido) e bruno (10YR 5/3 – secco); screziature comuni, medie, marcate, bruno scure (7,5YR 5/8 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; molto friabile (umido), moderatamente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, poche, medie, sub-orizzontali; pori interstiziali; effervescenza all’HCl debole; limite graduale lineare. Cg2: 53-72+ cm; molto umido; bruno oliva chiaro (2,5Y 5/3 – umido) e grigio brunastro chiaro (2.5Y 6/2 - secco); screziature comuni, medie, distinte, bruno forte (7,5YR 5/8 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), moderatamente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, poche, medie, sub-orizzontali; pori interstiziali; effervescenza all’HC debole; limite sconosciuto. Falda presente a – 67 cm dal piano di campagna.
Regione	Emilia – Romagna		
Provincia	Ravenna		
Comune	Ravenna		
Località	Pineta San Vitale		
Coordinate WGS84 UTM fuso 33	279387	m EST	
	4928612	m NORD	
Quota	1	m.s.l.m.	
Inclinazione versante	-	%	
	-	Gradi	
Esposizione del versante	-	Gradi	
	-	Direzion e	
Fisiografia e morfologia	Interduna		
Erosione / deposizione			
Rocciosità	Assente		
Pietrosità	Assente		
Aspetti superficiali			
Uso del suolo/vegetazione			
Regime di umidità	Aquico		
Regime di temperatura	Mesico		
Substrato pedogenetico o litologia	Sabbie		





Scheda pedologica profilo 4Occhi8



PROFILO 4occhi8	ST (SSS, 2006)	<i>Mixed, calcareous, mesic TYPIC USTIPSAMMENTS</i>
	WRB (IUSS, 2006)	<i>Haplic ARENOSOLS</i>

Data rilievo	02/04/2004		Oi: 10-4 cm; lettiera poco decomposta costituita da foglie e rametti; limite abrupto ondulato. Oe: 4-0 cm; lettiera parzialmente decomposta costituita da foglie e rametti; limite abrupto ondulato. A: 0-12 cm; umido; bruno grigiastro molto scuro (10YR 3/2 – umido) e bruno grigiastro scuro (10YR 4/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), soffice (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, comuni, fini; radici legnose, comuni, fini, medie e grosse; pori interstiziali; effervescenza all’HCl debole; limite abrupto lineare. A/C: 12-30 cm; umido; bruno oliva (2,5Y 4/3 – umido) e bruno grigiastro (10 YR 5/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), soffice (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, poche, medie e legnose, comuni, piccole e medie; pori interstiziali; effervescenza all’HCl debole; limite abrupto lineare. C1: 30-56 cm; umido; bruno oliva chiaro (2,5Y 5/3 – umido) e bruno grigiastro (10YR 5/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), moderatamente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, poche, fini e medie; pori interstiziali; effervescenza all’HCl debole; limite abrupto lineare. C2: 56-75 cm; umido; bruno grigiastro (2,5Y 5/2 – umido) e grigio brunastro chiaro (10YR 6/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), moderatamente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, poche, fini e medie; pori interstiziali; effervescenza all’HCl debole; limite chiaro lineare. 2C1: 75-120 cm; umido; bruno oliva (2,5Y 4/3 – umido) e grigio brunastro chiaro (2,5Y 6/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), moderatamente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all’HCl debole; limite chiaro lineare. 2C2: 120-150 cm; molto umido; bruno oliva chiaro (2,5Y 5/3 – umido) e grigio brunastro chiaro (2,5Y 6/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), moderatamente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all’HCl debole; limite chiaro lineare. 2C3: 150-180+ cm; bagnato; grigio scuro (2,5Y 4/1 – umido) e grigio chiaro (2,5Y 7/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), moderatamente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all’HCl forte; limite sconosciuto.
Regione	Emilia – Romagna		
Provincia	Ravenna		
Comune	Ravenna		
Località	Pineta San Vitale		
Coordinate WGS84 UTM fuso 33	280142	m EST	
	4933864	m NORD	
Quota	2	m.s.l.m.	
Inclinazione versante	-	%	
	-	Gradi	
Esposizione del versante	-	Gradi	
	-	Direzion e	
Fisiografia e morfologia	Sommità duna		
Erosione / deposizione			
Rocciosità	Assente		
Pietrosità	Assente		
Aspetti superficiali			
Uso del suolo/vegetazione			
Regime di umidità	Ustico		
Regime di temperatura	Mesico		
Substrato pedogenetico o litologia	Sabbie		



Scheda pedologica profilo 4Occhi9

PROFILO	ST (SSS, 2006)	<i>Mixed, calcareous, mesic (SODIC) TYPIC PSAMMAQUENTS</i>
4occhi9	WRB (IUSS, 2006)	<i>Calcaric ARENOSOLS</i>

Data rilievo	02/04/2004	<p>Oi: 2-1 cm; lettiera poco decomposta costituita da essenze erbacee; limite abrupto ondulato.</p> <p>Oe: 1-0 cm; lettiera parzialmente decomposta costituita da essenze erbacee; limite abrupto ondulato.</p> <p>A: 0-5 cm; molto umido; nero (10YR 2/1 – umido) e bruno grigiastro scuro (10YR 4/2 – secco); tessitura sabbiosa; presenza di pochissime conchiglie; struttura grumosa, debolmente aggregata tendente all'incoerente; friabile (umido), debolmente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, molte, fini e legnose, molto poche, medie; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite abrupto lineare.</p> <p>Cg1: 5-13 cm; molto umido; bruno grigiastro scuro (10YR 4/2 – umido) e bruno grigiastro (10YR 5/2 – secco); screziature abbondanti, marcate, bruno scure (7,5YR 5/8 – umido); tessitura sabbiosa; presenza di pochissime conchiglie; struttura incoerente; friabile (umido), moderatamente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, comuni, fini e legnose, molto poche, fini; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite abrupto lineare.</p> <p>Cg2: 13-34+ cm; molto umido; bruno oliva (2,5Y 4/3 – umido) e grigio brunastro chiaro (10YR 6/2 - secco); screziature comuni, marcate, bruno scure (7,5YR 5/8 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), debolmente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, molto poche, fini; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite sconosciuto.</p> <p>Falda presente a – 26 cm dal piano di campagna.</p>
Regione	Emilia – Romagna	
Provincia	Ravenna	
Comune	Ravenna	
Località	Pineta San Vitale	
Coordinate WGS84 UTM fuso 33	280823	
	493372	
Quota	0	
Inclinazione versante	-	
	-	
Esposizione del versante	-	
	-	
Fisiografia e morfologia	Depressione	
Erosione / deposizione		
Rocciosità	Assente	
Pietrosità	Assente	
Aspetti superficiali		
Uso del suolo/vegetazione		
Regime di umidità	Aquico	
Regime di temperatura	Mesico	
Substrato pedogenetico o litologia	Sabbie	
		

Scheda pedologica profilo 4Occhi10



PROFILO	ST (SSS, 2006)	Mixed, calcareous, mesic (OXYAQUIC) TYPIC
4occhi10	WRB (IUSS, 2006)	Haplic ARENOSOLS

Data rilievo	02/04/2004		Oi: 4-1 cm; lettiera poco decomposta costituita da muschi, foglie e rametti; limite abrupto lineare. Oe: 1-0 cm; lettiera parzialmente decomposta costituita da muschi, foglie e rametti; limite abrupto lineare. A1: 0-5 cm; umido; nero brunastro (7,5YR 2,5/1 - umido) e bruno oliva scuro (2.5Y 3/3 - secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), soffice (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, abbondanti, fini e legnose, poche, fini; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite chiaro ondulato. A2: 5-25 cm; umido; bruno grigiastro molto scuro (10YR 3/2 – umido) e bruno grigiastro scuro (2.5Y 4/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), soffice (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, poche, fini e radici legnose, poche, piccole e medie; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite abrupto lineare. A/C: 25-40 cm; umido; bruno grigiastro scuro (2,5Y 4/2 – umido) e bruno grigiastro (2,5Y 5/2 - secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), soffice (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, molto poche, fini e radici legnose, molto poche, medie; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; limite abrupto lineare. C1: 40-100 cm; umido; bruno grigiastro scuro (2,5Y 4/2 – umido) e grigio brunastro chiaro (2,5Y 6/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), soffice (secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, molto poche, fini; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; limite chiaro ondulato. Cg1: 100-130 cm; molto umido; bruno oliva (2,5Y 4/3 – umido) e grigio brunastro chiaro (2,5Y 6/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), soffice (secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; limite chiaro lineare. Cg2: 130-170+ cm; bagnato; bruno grigiastro scuro (2,5Y 4/2 – umido) e grigio brunastro chiaro (2,5Y 6/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), soffice (secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; limite sconosciuto. Falda presente a – 130 cm dal piano di campagna.
Regione	Emilia – Romagna		
Provincia	Ravenna		
Comune	Ravenna		
Località	Pineta San Vitale		
Coordinate WGS84 UTM fuso 33	280470	m EST	
	4932716	m NORD	
Quota	2	m.s.l.m.	
Inclinazione versante	-	%	
	-	Gradi	
Esposizione del versante	-	Gradi	
	-	Direzion e	
Fisiografia e morfologia	Sommità duna		
Erosione / deposizione			
Rocciosità	Assente		
Pietrosità	Assente		
Aspetti superficiali			
Uso del suolo/vegetazione			
Regime di umidità	Ustico		
Regime di temperatura	Mesico		
Substrato pedogenetico o litologia	Sabbie		



Scheda pedologica profilo 4Occhi11

PROFILO	ST (SSS, 2006)	<i>Mixed, calcareous, mesic (SODIC) MOLLIC PSAMMAQUENTS</i>
4occhi11	WRB (IUSS, 2006)	<i>Calcaric ARENOSOLS</i>

Data rilievo	02/04/2004	<p>Oi: 4 –1 cm; lettiera poco decomposta costituita da foglie e rametti; limite abrupto ondulato.</p> <p>Oe: 1-0 cm; lettiera parzialmente decomposta costituita da foglie e rametti; limite abrupto ondulato.</p> <p>A: 0-10 cm; umido; bruno molto scuro (10YR 2/2 – umido) e bruno grigiastro scuro (10YR 4/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura grumosa, fine, debolmente aggregata, tendente all'incoerente; friabile (umido), soffice (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, comuni, fini e legnose, comuni, fini e medie; pori interstiziali; effervescenza all'HCl molto debole; limite abrupto lineare.</p> <p>A/C: 10-25 cm; umido; bruno grigiastro molto scuro (2,5Y 3/2 – umido) e bruno (10YR 5/3 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), debolmente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, molto poche, fini e legnose, comuni, medie; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite abrupto lineare.</p> <p>Cg: 25-62+ cm; molto umido; bruno grigiastro scuro (2,5Y 4/2- umido) e grigio brunastro chiaro (10YR 6/2 – secco); screziature comuni, medie, distinte, bruno oliva chiaro (2,5Y 5/6 – umido) e grigio oliva (5Y 4/2 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), debolmente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, molto poche, medie; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; limite sconosciuto.</p> <p>Falda presente a – 59 cm dal piano di campagna.</p>
Regione	Emilia – Romagna	
Provincia	Ravenna	
Comune	Ravenna	
Località	Pineta San Vitale	
Coordinate WGS84 UTM fuso 33	279885	
	493228	
Quota	1	
	5	
Inclinazione versante	-	
Esposizione del versante	-	
	-	
Fisiografia e morfologia	Interduna	
Erosione / deposizione		
Rocciosità	Assente	
Pietrosità	Assente	
Aspetti superficiali		
Uso del suolo/vegetazione		
Regime di umidità		
Regime di temperatura		
Substrato pedogenetico o litologia	Sabbie	
		

Scheda pedologica profilo 2Giugno

PROFILO 2Giugno	ST (SSS, 2006)	<i>Mixed, mesic OXYAQUIC USTIPSAMMENTS</i>
	WRB (IUSS, 2006)	<i>Calcaric ARENOSOLS</i>

Data rilievo	26/04/05		Oi: 2-1 cm; lettiera poco decomposta costituita da foglie e rametti; limite abrupto ondulato. Oe: 1-0 cm; lettiera parzialmente decomposta di foglie e rametti; limite abrupto irregolare. A1: 0-4/5 cm; poco umido; bruno grigiastro molto scuro (10YR 3/2 – umido) e bruno grigiastro scuro (10YR 4/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura grumosa, fine, debolmente aggregata, tendente all’incoerente; molto friabile (umido), soffice (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, poche, fini; pori interstiziali; effervescenza all’HCl assente; limite chiaro ondulato. A2: 4/5-37 cm; poco umido; bruno grigiastro scuro (10YR 4/2 – umido) e bruno grigiastro (10YR 5/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; sciolto (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, poche, fini, e radici legnose, molto poche, medie, sub-orizzontali; pori interstiziali; effervescenza all’HCl debole; limite chiaro ondulato. C1: 37-75 cm; umido; bruno grigiastro scuro (2,5Y 4/2 - umido) e grigio brunastro chiaro (2,5Y 6/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; sciolto (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, molto poche, grosse, sub-orizzontali; pori interstiziali; effervescenza all’HCl debole; limite diffuso ondulato. Cg1: 75-90+ cm; molto umido; bruno grigiastro (2,5Y 5/2 – umido) e grigio chiaro (2,5Y 7/1 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; sciolto (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all’HCl debole; limite sconosciuto. Falda presente a – 90 cm dal piano di campagna.
Regione	Emilia – Romagna		
Provincia	Ravenna		
Comune	Ravenna		
Località	Pineta San Vitale		
Coordinate WGS84 UTM fuso 33	279255	m EST	
	493116 7	m NORD	
Quota	2	m.s.l.m.	
Inclinazione versante	-	%	
	-	Gradi	
Esposizione del versante	-	Gradi	
	-	Direzion e	
Fisiografia e morfologia	Sommità duna/Interduna alta		
Erosione / deposizione			
Rocciosità	Assente		
Pietrosità	Assente		
Aspetti superficiali			
Uso del suolo/vegetazione	Erbacea mista con graminacee ed edera;arbustiva con biancospino, rosa canina;arborea con pini		
Regime di umidità	Ustico		
Regime di temperatura	Mesico		
Substrato pedogenetico o litologia	Sabbie		



Scheda pedologica profilo Canala1

PROFILO Canala1	ST (SSS, 2006)	<i>Mixed, mesic (SODIC) MOLLIC PSAMMAQUEUS</i>
	WRB (IUSS, 2006)	<i>Calcaric ARENOSOLS</i>

Data rilievo	26/05/2005		Oi: 8-2 cm; lettiera poco decomposta costituita da essenze erbacee; limite abrupto lineare. Oe: 2-0 cm; lettiera parzialmente decomposta costituita da essenze erbacee; limite abrupto ondulato. Ag: 0-7 cm; molto umido; nero (5YR 2,5/1 – umido) e grigio molto scuro (5YR 3/1 – secco); screziature molte, molto grossolane, marcate, bruno rossastro scure (5YR 2,5/2 umido); tessitura sabbioso franca; struttura incoerente; sodo (umido), duro (secco); poco adesivo; debolmente plastico; radici erbacee, molte, fini sub-orizzontali; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite abrupto lineare. A/Cg: 7-15 cm; bagnato; nero (5YR 2,5/1 – umido) e grigio scuro (5YR 4/1 – secco); screziature comuni, grossolane, distinte, bruno forte (7,5YR 4/6 – umido) e comuni, grossolane, distinte, grigio grigiastro scuro (GLEY1 4/5GY – umido); tessitura franco sabbiosa; molto friabile (umido), moderatamente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, molto poche, molto fini; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite abrupto lineare. Cg: 15-31+ cm; bagnato; grigio grigiastro scuro (GLEY1 4/10Y – umido) e grigio grigiastro (GLEY1 6/10Y - secco); screziature poche, medie, marcate, bruno forte (7,5YR 4/6 – umido); tessitura franco sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), debolmente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite sconosciuto.
Regione	Emilia – Romagna		
Provincia	Ravenna		
Comune	Ravenna		
Località	Pineta San Vitale		
Coordinate WGS84 UTM fuso 33	279080	m EST	
	492688 3	m NORD	
Quota	0	m.s.l.m.	
Inclinazione versante	-	%	
	-	Gradi	
Esposizione del versante	-	Gradi	
	-	Direzion e	
Fisiografia e morfologia	Depressione		
Erosione / deposizione			
Rocciosità	Assente		
Pietrosità	Assente		
Aspetti superficiali			
Uso del suolo/ vegetazione			
Regime di umidità	Aquico		
Regime di temperatura	Mesico		
Substrato pedogenetico o litologia	Sabbie		



Scheda pedologica profilo SVN1

PROFILO	ST (SSS, 2006)	<i>Mixed, calcareous, mesic TYPIC USTIPSAMMENTS</i>
SVN1	WRB (IUSS, 2006)	<i>Haplic ARENOSOLS (calcaric)</i>

Data rilievo	06/04/2006	Oi: 4-2 cm: lettiera poco decomposta costituita da aghi di pino, foglie e rametti di biancospino, pungitopo, asparago; limite abrupto ondulato.	
Regione	Emilia – Romagna	Oa: 2-0 cm: lettiera molto decomposta costituita da residui vegetali; limite abrupto ondulato.	
Provincia	Ravenna	A₁: 0-6 cm; poco umido; nero (10YR 2/1 – umido); tessitura sabbiosa; struttura grumosa, fine, tendente all'incoerente; sciolto (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, comuni, fini, sub-orizzontali; pori interstiziali; effervescenza all'HCl molto debole; limite abrupto ondulato.	
Comune	Ravenna	A₂: 6-20 cm; poco umido; bruno scuro (10YR 3/3 – umido); tessitura sabbiosa; struttura grumosa, fine, tendente all'incoerente; sciolto (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, poche, fini e legnose, poche, medie, sub-orizzontali; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite chiaro ondulato.	
Località	Pineta S.Vitale	A/C: 20-60 cm; umido; bruno grigiastro (2,5Y 5/2 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; sciolto (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, molto poche, fini e legnose, molto poche, medie, sub-orizzontali; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; limite graduale lineare.	
Coordinate WGS84 UTM fuso 33	280963	<i>m EST</i>	C1: 60-83 cm; umido; bruno oliva (2,5Y 4/3 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; sciolto (umido e secco); non adesivo; non plastico; una radice legnosa, molto grossa, sub-orizzontale alla base; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; limite diffuso lineare.
	4934650	<i>m NORD</i>	
Quota	1	<i>m.s.l.m.</i>	2C1: 83-106+ cm; umido; bruno grigiastro scuro (2,5Y 4/2 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; sciolto (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; limite diffuso lineare.
Inclinazione versante	-	%	
Esposizione del versante	-	Gradi	2C2: 106-130 cm; poco umido; bruno oliva (2,5Y 4/4 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; sciolto (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite diffuso lineare.
	-	Gradi	
Fisiografia e morfologia	-	Direzione	2C3: 130-160 cm; poco umido; bruno grigiastro (2,5Y 5/2 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; sciolto (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all'HCl molto debole; limite chiaro lineare.
Erosione / deposizione	-		
Rocciosità			3C1: 160-185 cm; poco umido; grigio scuro (5Y 4/1 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; sciolto (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all'HCl assente; limite sconosciuto.
Pietrosità			
Aspetti superficiali			
Uso del suolo/vegetazione	Pineta con pino domestico, biancospino, pungitopo, asparago, tarassaco, graminacee, muschio		
Regime di umidità	Ustico		
Regime di temperatura	Mesico		
Substrato pedogenetico o litologia	Sabbie		



Scheda pedologica profilo SVN2

PROFILO	ST(SSS, 2006)	Mixed, calcareous, mesic OXYAQUIC
SVN2	WRB (IUSS, 2006)	USTIPSAMMENTS

Data rilievo	27/04/2006		Oi: 2-1 cm; lettiera poco decomposta costituita da foglie e residui vegetali; limite abrupto irregolare. Oa: 1-0 cm; lettiera molto decomposta costituita da residui vegetali; limite abrupto ondulato. A1: 0-8 cm; secco; nero (7,5YR 2,5/1 – umido) e grigio molto scuro (7,5YR 3/1 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; sciolto (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, comuni, fini e medie; pori interstiziali; effervescenza all’HCl debole; limite abrupto ondulato. A2: 8-32 cm; poco umido; bruno grigiastro molto scuro (10YR 3/2 – umido) e bruno (10YR 5/3 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; sciolto (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, poche, fini; pori interstiziali; effervescenza all’HCl debole; limite chiaro irregolare. C1: 32-60 cm; poco umido; bruno grigiastro scuro (2,5Y 4/2 – umido) e bruno grigiastro (2,5Y 5/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; sciolto (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, molto poche, fini; pori interstiziali; effervescenza all’HCl debole; limite graduale irregolare. Cg1: 60-100 cm; umido; bruno grigiastro scuro (2,5Y 4/2 – umido) e grigio (2,5Y 6/1 – secco); screziature comuni, medie, deboli, bruno grigiastro (2,5Y 5/2 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; sciolto (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all’HCl debole; limite graduale irregolare. Cg2: 100-121+ cm; umido; grigio scuro (5Y 4/1 – umido) e grigio (5Y 6/1 – secco); screziature comuni, medie, deboli, grigio oliva (5Y 4/2 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; sciolto (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all’HCl forte; limite sconosciuto.
Regione	Emilia – Romagna		
Provincia	Ravenna		
Comune	Ravenna		
Località	Pineta San Vitale		
Coordinate WGS84 UTM fuso 33	280988	m EST	
	4935334	m NORD	
Quota	1	m.s.l.m.	
Inclinazione versante	-	%	
	-	Gradi	
Esposizione del versante	-	Gradi	
	-	Direzion e	
Fisiografia e morfologia	Superficie lievemente ondulata		
Erosione / deposizione			
Rocciosità	Assente		
Pietrosità	Assente		
Aspetti superficiali			
Uso del suolo/vegetazione	Pini (<i>Pinus pinea</i>) radi; <u>Veg. arbustiva:</u> presente <u>Veg. erbacea:</u> presente		
Regime di umidità	Ustico		
Regime di temperatura	Mesico		
Substrato pedogenetico o litologia	Sabbia		



Scheda pedologica profilo SVN3

PROFILO	ST (SSS, 2006)	<i>Mixed, calcareous, mesic (SODIC) TYPIC</i>
SVN3	WRB (IUSS, 2006)	PSAMMAQUENTS

Data rilievo	27/04/2006	Oi: 2-1 cm; lettiera poco decomposta costituita da residui vegetali; limite abrupto irregolare.	
Regione	Emilia – Romagna	Oa: 1-0 cm; lettiera molto decomposta costituita da residui vegetali; limite abrupto ondulato.	
Provincia	Ravenna	Ag: 0-9 cm; poco umido; nero (2,5Y 2,5/1 – umido) e grigio scuro (2,5Y 4/1 – secco); screziature comuni, medie, deboli, bruno oliva chiaro (2,5Y 5/6 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; sciolto (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, comuni, fini; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite abrupto lineare.	
Comune	Ravenna	A/Cg: 9-37 cm; umido; bruno grigiastro scuro (2,5Y 4/2 – umido) e grigio brunastro chiaro (2,5Y 6/2 – secco); screziature comuni, molto grossolane, marcate, grigio molto scuro (2,5Y 3/1 – umido), comuni, grossolane, deboli, giallo oliva (2,5Y 6/6 – umido) e comuni, medie, deboli, bruno grigiastre (2,5Y 5/2 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; sciolto (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite abrupto irregolare.	
Località	Pineta San Vitale	Cg: 37-55+ cm; bagnato; bruno grigiastro scuro (2,5Y 4/2 – umido) e bruno giallastro chiaro (2,5Y 6/3 – secco); screziature molto evidenti, bruno oliva chiaro (2,5Y 5/6 – umido), grigio oliva (5Y 4/2 – umido) e grigio verdastro scuro (GLEY1 4/10GY – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; sciolto (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite sconosciuto.	
Coordinate WGS84 UTM fuso 33	280820 493536 7	<i>m EST</i> <i>m NORD</i>	Falda presente a – 55 cm dal piano di campagna.
Quota	1	<i>m.s.l.m.</i>	
Inclinazione versante	-	%	
	-	Gradi	
Esposizione del versante	-	Gradi	
	-	Direzion e	
Fisiografia e morfologia	Depressione pianeggiante		
Erosione / deposizione			
Rocciosità	Assente		
Pietrosità	Assente		
Aspetti superficiali			
Uso del suolo/vegetazione	Prato polifita a graminacee		
Regime di umidità	Aquico		
Regime di temperatura	Mesico		
Substrato pedogenetico o litologia	Sabbia		



Scheda pedologica profilo SV4

PROFILO SV4	ST (SSS, 2006)	Mixed, calcareous, mesic TYPIC USTIPSAMMENTS
	WRB (IUSS, 2006)	Haplic ARENOSOLS

Data rilievo	20/09/2006		Oi: 3-1 cm; lettiera poco decomposta costituita da graminacee e aghi di pino; limite abrupto ondulato. Oa: 1-0 cm; lettiera molto decomposta costituita da residui vegetali; limite abrupto lineare. A: 0-9 cm; umido; bruno oliva (2,5YR 4/3 – umido); masse di 0,5-1 cm di diametro, grigio grigiastre (GLEY1 5/5GY – umido) al centro e bruno forte (7,5YR 4/6 - umido) ai margini; tessitura sabbiosa; struttura incoerente; molto friabile (umido), soffice (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, molto poche, fini e legnose, poche, fini e molto fini, sub-orizzontali; pori interstiziali; effervescenza all’HCl forte; limite chiaro ondulato. A/C: 9-30 cm; umido; bruno oliva (2,5YR 4/4 – umido); masse di 1-2 cm di diametro, grigio grigiastre (GLEY1 5/5GY – umido) al centro e bruno forte (7,5YR 4/6 - umido) ai margini; tessitura sabbiosa; frammenti di gusci calcarei; struttura incoerente; molto friabile (umido), debolmente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, poche, molto fini; pori interstiziali; effervescenza all’HCl forte; limite chiaro ondulato. C: 30-80 cm; secco; grigio oliva chiaro (5Y 6/2 – secco); tessitura sabbiosa; frammenti di gusci calcarei; struttura incoerente; sciolto (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all’HCl forte; limite chiaro ondulato. 2C: 80-105 cm; secco; colore oliva pallido (5Y 6/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; sciolto (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all’HCl forte; limite chiaro ondulato. 3C: 105-140 cm; poco umido; bruno oliva (2,5Y 4/4 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; molto friabile (umido), soffice (secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; concrezioni friabili, bruno oliva (2,5Y 4/4 – umido) internamente e bruno grigiastro molto scuro (2,5Y 3/2 – umido) esternamente; pori interstiziali; effervescenza all’HCl forte; limite chiaro ondulato. 4C: 140-150+ cm; poco umido; oliva (5Y 4/3 - umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; molto friabile (umido), soffice (secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all’HCl forte; limite sconosciuto.
Regione	Emilia – Romagna		
Provincia	Ravenna		
Comune	Ravenna		
Località	Pineta San Vitale		
Coordinate WGS84 UTM fuso 33	280301	m EST	
	492883 0	m NORD	
Quota	1	m.s.l.m.	
Inclinazione versante	-	%	
	-	Gradi	
Esposizione del versante	-	Gradi	
	-	Direzion e	
Fisiografia e morfologia	Argine sbarramento piantumato di		
Erosione / deposizione			
Rocciosità	Assente		
Pietrosità	Assente		
Aspetti superficiali			
Uso del suolo/vegetazione	Pini marittimi (<i>Pinus pinaster</i>) e domestici (<i>P. pinea</i>): piantati nel 1986, fitti; prugnolo; asparago; graminacee.		
Regime di umidità	Ustico		
Regime di temperatura	Mesico		
Substrato pedogenetico o litologia	Sabbia		

Scheda pedologica profilo PZ1

PROFILO PZ1	ST (SSS, 2006)	<i>Mixed, mesic SODIC PSAMMAQUENTS</i>
	WRB (IUSS, 2006)	<i>Haplic GLEYSOLS (calcaric, sodic, eutric, arenic)</i>

Data rilievo	02/02/2007		Oi: 3-1 cm; lettiera poco decomposta costituita da foglie e rametti di farnia, biancospino e rovi; limite abrupto ondulato. Oa: 1-0 cm; lettiera molto decomposta costituita da frammenti vegetali; limite abrupto ondulato. A: 0-10/13 cm; umido; nero (10YR 2/1 – secco e umido); tessitura sabbiosa; struttura grumosa, fine, debolmente aggregata, tendente all'incoerente; sciolto (umido), soffice (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, abbondanti, molto fini, sub-orizzontali; pori interstiziali; effervescenza all'HCl assente; limite chiaro ondulato. A/C: 10/13-18/20 cm; umido; bruno oliva (2,5Y 4/3 – secco) e bruno grigiastro molto scuro (2,5Y 3/2 – umido); screziature comuni, grossolane, distinte, bruno giallastro scuro (10YR 4/6 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), debolmente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, poche, fini e legnose, poche, grosse, sub-orizzontali; pori interstiziali; effervescenza all'HCl assente; limite chiaro lineare. Cg1: 18/20-24 cm; bagnato; grigio (2,5Y 6/1 – secco) e grigio scuro (2,5Y 4/1 – umido); screziature comuni, grossolane, distinte, bruno forte (7,5YR 4/6 – umido) e grigio molto scuro (7,5YR 3/1 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), debolmente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, poche, fini, sub-orizzontali; pori interstiziali; effervescenza all'HCl molto debole; limite abrupto lineare. Cg2: 24-45+ cm; bagnato; grigio chiaro (2,5Y 7/1 – secco) e grigio scuro (2,5Y 4/1 – umido); screziature poche, fini, deboli, bruno forte (7,5YR 4/6 – umido) e poche, medie, deboli, grigio molto scuro (2,5Y 3/1 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), debolmente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, molto poche, molto fini, sub-orizzontali; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite sconosciuto.
Regione	Emilia – Romagna		
Provincia	Ravenna		
Comune	Ravenna		
Località	Pineta S.Vitale		
Coordinate WGS84 UTM fuso 33	279233	m EST	
	492696 4	m NORD	
Quota	- 0.28	m.s.l.m.	
Inclinazione versante	-	%	
	-	Gradi	
Esposizione del versante	-	Gradi	
	-	Direzion e	
Fisiografia e morfologia			
Erosione / deposizione			
Rocciosità			
Pietrosità			
Aspetti superficiali			
Uso del suolo/ vegetazione	Farnia, biancospino, rovo		
Regime di umidità	Aquico		
Regime di temperatura	Mesico		
Substrato pedogenetico o litologia	Sabbie		

Falda presente a – 23 cm dal piano di campagna.



Scheda pedologica profilo PZ3

PROFILO	ST (SSS, 2006)	<i>Mixed, calcareous, mesic SODIC PSAMMAQUENTS</i>
PZ3	WRB (IUSS, 2006)	<i>Haplic GLEYSOLS (calcaric, sodic, eutric, arenic)</i>

Data rilievo	02/02/2007		<p>Oi: 4-1 cm; umido; lettiera poco decomposta costituita da foglie e rametti di farnia, biancospino e rovo; limite abrupto lineare.</p> <p>Oe: 1-0 cm; umido; lettiera mediamente decomposta costituita da frammenti vegetali; limite abrupto ondulato.</p> <p>A: 0-6/8 cm; umido; nero (10YR 2/1 – umido) e bruno molto scuro (10YR 2/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura grumosa, fine, debolmente aggregata, tendente all'incoerente; sciolto (umido), soffice (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, abbondanti, molto fini; pori interstiziali; effervescenza all'HCl assente; limite abrupto ondulato.</p> <p>A/C: 6/8-17 cm; bagnato; grigio (10YR 5/1 – umido) e bruno giallastro scuro (10YR 4/4 – secco); screziature comuni, grossolane, distinte, bruno giallastre (10YR 5/6 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), soffice (secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, poche, medie e grosse, sub-orizzontali; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite chiaro ondulato.</p> <p>Cg1: 17-28 cm; bagnato; grigio (2,5Y 5/1 – umido) e grigio chiaro (2,5Y 7/1 – secco); screziature abbondanti, medie, distinte, bruno giallastre (10YR 5/6 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; sodo (umido), debolmente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee e legnose, poche, medie, sub-orizzontali; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; limite graduale lineare.</p> <p>Cg2: 28-44+ cm; bagnato; grigio (2,5Y 5/1 – umido) e grigio chiaro (2,5Y 7/2 – secco); screziature abbondanti, medie, distinte, bruno forte (7,5YR 4/6 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; sciolto (umido), debolmente duro (secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, poche, medie, sub- orizzontali; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; limite sconosciuto.</p> <p>Falda presente a – 31 cm dal piano di campagna.</p>
Regione	Emilia – Romagna		
Provincia	Ravenna		
Comune	Ravenna		
Località	Pineta S.Vitale		
Coordinate WGS84 UTM fuso 33	279978	m EST	
	492772 4	m NORD	
Quota	- 0.12	m.s.l.m.	
Inclinazione versante	-	%	
	-	Gradi	
Esposizione del versante	-	Gradi	
	-	Direzion e	
Fisiografia e morfologia			
Erosione / deposizione			
Rocciosità			
Pietrosità			
Aspetti superficiali			
Uso del suolo/vegetazione	Farnia, olivello, pungitopo, asparago selvatico, rovo, muschio		
Regime di umidità	Aquico		
Regime di temperatura	Mesico		
Substrato pedogenetico o litologia	Sabbie		



Scheda pedologica profilo PZ4

PROFILO	ST (SSS, 2006)	<i>Mixed, calcareous, mesic TYPIC USTIPSAMMENTS</i>
PZ4	WRB (IUSS, 2006)	<i>Haplic ARENOSOLS (calcaric, hyposalic)</i>

Data rilievo	02/05/2007	<p>Oi: 5-2 cm; lettiera poco decomposta costituita da aghi di pino, foglie e rametti di farnia, muschio; limite abrupto ondulato.</p> <p>Oa: 2-0 cm; lettiera molto decomposta costituita da frammenti vegetali; limite abrupto irregolare.</p> <p>A1: 0-10 cm; secco; bruno grigiastro molto scuro (10YR 3/2 – umido) e bruno grigiastro scuro (10YR 4/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura grumosa, fine, debolmente aggregata, tendente all'incoerente; sciolto (umido), soffice (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, comuni, fini e molto fini; pori interstiziali; effervescenza all'HCl assente; limite chiaro ondulato.</p> <p>A2: 10-35 cm; secco; bruno grigiastro scuro (10YR 4/2 – umido) e bruno (10YR 5/3 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; sciolto (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, comuni, medie e grosse, sub-orizzontali; pori interstiziali; effervescenza all'HCl notevole; limite chiaro ondulato.</p> <p>C1: 35-73 cm; secco; bruno grigiastro (2,5Y 4/2 – umido) e grigio brunastro chiaro (2,5Y 6/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; sciolto (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, poche, grosse e molto grosse, e legnose, poche, medie, sub-orizzontali; pori interstiziali; effervescenza all'HCl notevole; limite chiaro ondulato.</p> <p>C2: 73-106 cm; poco umido; bruno grigiastro (2,5Y 5/2 – umido) e grigio chiaro (2,5Y 7/2 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; molto friabile (umido), sciolto (secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, poche, medie; pori interstiziali; effervescenza all'HCl notevole; limite graduale ondulato.</p> <p>Cg1: 106-127 cm; umido; bruno grigiastro (2,5Y 5/2 – umido) e bruno giallastro chiaro (2,5Y 6/3 – secco); screziature poche, deboli, brune (10YR 4/3 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), soffice (secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all'HCl notevole; limite chiaro ondulato.</p> <p>Cg2: 127-162+ cm; bagnato; bruno grigiastro (2,5Y 5/2 – umido) e grigio brunastro chiaro (2,5Y 6/2 – secco); screziature assenti; tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), soffice (secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza all'HCl notevole; limite sconosciuto.</p> <p>Falda presente a – 148 cm dal piano di campagna.</p>
Regione	Emilia – Romagna	
Provincia	Ravenna	
Comune	Ravenna	
Località	Pineta S.Vitale	
Coordinate WGS84 UTM fuso 33	280203	m EST
	492850 9	m NORD
Quota	0.83	m.s.l.m.
Inclinazione versante	-	%
	-	Gradi
Esposizione del versante	-	Gradi
	-	Direzione
Fisiografia e morfologia	Sommità di cordone dunale	
Erosione / deposizione		
Rocciosità		
Pietrosità		
Aspetti superficiali		
Uso del suolo/vegetazione	Pinus pinea adulti radi, roverella adulti radi, farnia, pungitopo, asparago selvatico, biancospino, rovo.	
Regime di umidità	Ustico	
Regime di temperatura	Mesico	
Substrato pedogenetico o litologia	Sabbie	



Scheda pedologica profilo PZ7

PROFILO	ST (SSS, 2006)	<i>Mixed, calcareous, mesic</i> AQUIC USTIPSAMMENTS
PZ7	WRB (IUSS, 2006)	<i>Endogleyic</i> ARENOSOLS (<i>calcaric, hyposalic, eutric</i>)

Data rilievo	05/02/2007	<p>Oi: 2-1 cm; lettiera poco decomposta costituita da foglie e rametti di roverella, pungitopo, rovo ed edera; limite abrupto ondulato.</p> <p>Oe: 1-0 cm; lettiera parzialmente decomposta costituita da foglie e rametti di roverella, pungitopo, rovo ed edera; limite abrupto ondulato.</p> <p>A: 0-10/12 cm; poco umido; grigio molto scuro (10YR 3/1 – umido) e bruno giallastro scuro (10YR 4/4 – secco); tessitura sabbiosa; struttura grumosa, fine, debolmente aggregata, tendente all'incoerente; friabile (umido), soffice (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, abbondanti, fini e erbacee, poche, medie, sub-orizzontali; pori interstiziali; effervescenza all'HCl debole; limite chiaro ondulato.</p> <p>A/C: 10/12-25 cm; poco umido; bruno grigiastro molto scuro (10YR 3/2 – umido) bruno (10YR 4/3 – secco); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), soffice (secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, poche, fini e legnose, comuni, medie; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; limite chiaro ondulato.</p> <p>C1: 25-55 cm; umido; bruno (10YR 5/3 – umido) e bruno giallastro chiaro (2,5Y 6/3 – secco); screziature poche, deboli, bruno grigiastre (10YR 5/2 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), soffice (secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, molto poche, grosse, sub-orizzontali; pori interstiziali; effervescenza all'HCl violenta; limite graduale ondulato.</p> <p>Cg1: 55-70 cm; bagnato; bruno grigiastro (10YR 5/2 – umido) e bruno (10YR 5/3 – secco); screziature comuni, deboli, bruno (10YR 4/3 – umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), soffice (secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, molto poche, fini; pori interstiziali; effervescenza all'HCl forte; limite chiaro lineare.</p> <p>Cg2: 70-91+ cm; bagnato; grigio grigiastro (GLEY1 6/1 – umido) e grigio pallido (GLEY1 7/2 – secco); screziature comuni, distinte, bruno scuro (10YR 3/3 - umido); tessitura sabbiosa; struttura incoerente; friabile (umido), soffice (secco); non adesivo; non plastico; alla base radici legnose, poche, molto grosse, sub-orizzontali; pori interstiziali; effervescenza all'HCl notevole; limite sconosciuto.</p> <p>Falda presente a – 79 cm dal piano di campagna.</p>
Regione	Emilia – Romagna	
Provincia	Ravenna	
Comune	Ravenna	
Località	Pineta S.Vitale	
Coordinate WGS84	280133	
UTM fuso 33	492901 3	
Quota	0.45	
Inclinazione versante	-	
Esposizione del versante	-	
Fisiografia e morfologia		
Erosione / deposizione		
Rocciosità		
Pietrosità		
Aspetti superficiali		
Uso del suolo/vegetazione	Pinus pinea (alcuni deperienti), roverella, asparago selvatico, pungitopo, rovo, Gallium aparinae, graminacee, edera.	
Regime di umidità	Ustico	
Regime di temperatura	Mesico	
Substrato pedogenetico o litologia	Sabbie	



Foto profilo e paesaggio del sito SV30



Scheda pedologica profilo BEL1

PROFILO BEL1	Class. USDA '06	<i>Mixed, calcareous, mesic Typic Psammaquents</i>
	Class. WRB '06	<i>Endogleyic Arenosols (Calcaric, Greyic)</i>

Data rilievo:	17/05/2006	<p>Oi: 4-3 cm; lettiera di residui vegetali poco decomposti. Oe: 3-2 cm; lettiera di residui vegetali mediamente decomposti. Oa: 2-0 cm; lettiera di residui vegetali molto decomposti. A: 0-10 cm; poco umido; colore bruno grigiastro molto scuro (10YR 3/2 – secco), colore bruno grigiastro molto scuro (10YR 3/2 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, comuni, fini e radici legnose, scarse, medie; pori interstiziali; effervescenza molto scarsa; limite chiaro ondulato. A/Cg: 10-20 cm; umido; colore bruno olivastro chiaro (2.5Y 5/3 – secco), colore bruno oliva (2.5Y 4/4 – umido), screziature bruno grigiastro scuro (2.5Y 4/2); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, scarse, fini e radici legnose, scarse, medie; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite chiaro lineare. Cg1: 20-39 cm; umido; colore bruno giallastro chiaro (2.5Y 6/3 – secco), colore bruno oliva (2.5Y 4/3 – umido), screziature bruno grigiastro molto scuro (10YR 3/2); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente, incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, molto scarse, grosse e molto scarse, medie; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite graduale ondulato. Cg2: 39-68 cm; bagnato; colore bruno giallastro chiaro (2.5Y 6/3 – secco), colore bruno grigiastro scuro (2.5Y 4/2 – umido), screziature bruno grigiastro molto scuro (10YR 3/2); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, molto scarse, medie; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite sconosciuto.</p> <p>Falda a partire da 65 cm.</p>
Regione	Emilia – Romagna	
Provincia	Ravenna	
Comune	Ravenna	
Località	Bellocchio -Az. Orsi Magelli- zona sud	
Coordinate UTM WGS84	x = 283348 m y = 4942434 m	
Quota (m)	0.64 m s.l.m.	
Inclinazione versante	% gradi	
Esposizione del versante	gradi direzione	
Fisiografia morfologia	e Depressione	
Erosione/ deposizione		
Rocciosità	Assente	
Pietrosità	Assente	
Aspetti superficiali	Ristagno idrico saltuario	
Uso del suolo / vegetazione	Arborea: querce rade, pini. Arbustiva: rovo, ginepro, pungitopo. Erbacea: canna, graminacee.	
Substrato pedologico o litologia	Sabbie	



Scheda pedologica profilo BEL2

PROFILO BEL2	Class. USDA '06	<i>Mixed, calcareous, mesic Typic Psammaquents</i>
	Class. WRB '06	<i>Endogleyic Arenosols (Calcaric)</i>

Data rilievo:	17/05/2006	<p>A: 0-8 cm; poco umido; colore bruno oliva chiaro (2.5Y 5/3 – secco), colore bruno oliva (2.5Y 4/4 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, scarse, fini; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite abrupto lineare.</p> <p>A/Cg: 8-22 cm; umido; colore bruno giallastro chiaro (2.5Y 6/3 – secco), colore bruno oliva (2.5Y 4/4 – umido); screziature bruno scuro (7.5YR 3/3); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, molto scarse, fini; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite chiaro irregolare.</p> <p>Cg1: 22-45 cm; umido; colore bruno giallastro chiaro (2.5Y 6/3 – secco), colore bruno oliva (2.5Y 4/3 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, molto scarse, fini; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite diffuso ondulato.</p> <p>Cg2: 45-60+ cm; bagnato; colore bruno giallastro chiaro (2.5Y 6/3 – secco), colore bruno grigiastro scuro (2.5Y 4/2 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite sconosciuto.</p> <p>Falda a partire da 58 cm.</p>
Regione	Emilia – Romagna	
Provincia	Ravenna	
Comune	Ravenna	
Località	Bellocchio - Poligono di tiro-	
Coordinate UTM WGS84	x = 283675 m	
	y = 4941877 m	
Quota (m)	0.32 m s.l.m.	
Inclinazione versante	%	
	gradi	
Esposizione del versante	gradi	
	direzione	
Fisiografia morfologia	e Piccola zona rilevata tra bassure	
Erosione/deposizione		
Rocciosità	Assente	
Pietrosità	Assente	
Aspetti superficiali		
Uso del suolo / vegetazione	Erbacea con radissimo tamarix.	
Substrato pedologico o litologia	Sabbie	



Scheda pedologica profilo BEL3

PROFILO BEL3	Class. USDA '06	<i>Mixed, calcareous, mesic Typic Ustipsamments</i>
	Class. WRB '06	<i>Protic Arenosols (Calcaric)</i>

<i>Data rilievo:</i>	17/05/2006	<p>Oi: 10-5 cm; ramaglie di pino, aghi, poco decomposti</p> <p>Oe: 5-1 cm; ramaglie di pino, aghi, mediamente decomposti</p> <p>Oa: 1-0 cm; residui molto decomposti con alla base radici comuni lunghe medie; limite abrupto lineare.</p> <p>A: 0-12 cm; poco umido; colore oliva pallido (5Y 6/3 – secco), colore bruno grigiastro scuro (2.5Y 4/2 - umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, scarse, fini e radici legnose, molto scarse, medie; pori interstiziali; effervescenza forte; limite chiaro irregolare.</p> <p>A/C: 12-36 cm; umido; colore giallo pallido (5Y 7/3 – secco), colore bruno oliva chiaro (2.5Y 5/3 - umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, scarse, grosse e radici, legnose, molto scarse, medie, fini; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite chiaro graduale.</p> <p>C11: 36-60 cm; umido; colore giallo pallido (5Y 7/3 – secco), colore bruno oliva chiaro (2.5Y 5/3 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, molto scarse, fini; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite chiaro lineare.</p> <p>C12: 60-81+ cm; poco umido; colore giallo pallido (5Y 7/3 – secco), colore grigio brunastro chiaro (2.5Y 6/2 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; una radice legnosa, grossa, a 72 cm e radici legnose, molto scarse, fini; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite sconosciuto.</p>
<i>Regione</i>	Emilia – Romagna	
<i>Provincia</i>	Ravenna	
<i>Comune</i>	Ravenna	
<i>Località</i>	Bellocchio	
<i>Coordinate UTM WGS84</i>	$x = 283246\ m$ $y = 4943194\ m$	
<i>Quota (m)</i>	0.20 <i>m s.l.m.</i>	
<i>Inclinazione versante</i>	% gradi	
<i>Esposizione del versante</i>	gradi direzione	
<i>Fisiografia morfologia</i>	e Sommità dunale.	
<i>Erosione/deposizione</i>		
<i>Rocciosità</i>	Assente	
<i>Pietrosità</i>	Assente	
<i>Aspetti superficiali</i>	Al suolo vi sono tanti residui legnosi, ramaglie di pino.	
<i>Uso del suolo / vegetazione</i>	Arborea: pini densi, alcuni deperienti. Arbustiva: rovo, asparago. Erbacea: graminacee, edera.	
<i>Substrato pedologico o litologia</i>	Sabbie	



Scheda pedologica profilo BEL4

PROFILO BEL4	Class. USDA '06 Class. WRB '06	<i>Mixed, calcareous, mesic Typic Ustipsamments</i> <i>Haplic Arenosols (Calcaric, Greyic)</i>
<i>Data rilievo:</i>	16/05/2006	Oi: 3-2 cm; lettiera poco decomposta di aghi di pino e foglie.
<i>Regione</i>	Emilia – Romagna	Oa: 2-0 cm; lettiera molto decomposta di aghi di pino e foglie.
<i>Provincia</i>	Ravenna	A: 0-10 cm; poco umido; colore bruno oliva (2.5Y 4/3 – secco), colore bruno oliva scuro (2.5Y 3/3 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, scarse, fini e radici legnose, comuni, medie; pori interstiziali; effervescenza forte; limite abrupto irregolare.
<i>Comune</i>	Ravenna	A/C: 10-37 cm; umido; colore bruno oliva chiaro (2.5Y 5/3 – secco), colore bruno oliva (2.5Y 4/4 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, scarse, fini e radici legnose, scarse, medie; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite graduale irregolare.
<i>Località</i>	Bellocchio -Az. Orsi Magelli-	C11: 37-60 cm; umido; colore bruno giallastro chiaro (2.5Y 6/3 – secco), colore bruno oliva (2.5Y 4/3 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, molto scarse, fini; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite diffuso irregolare.
<i>Coordinate UTM WGS84</i>	<i>x</i> = 282014 m <i>y</i> = 4942980 m	C12: 60-105 cm; umido; colore grigio brunastro chiaro (5Y 6/2 – secco), colore bruno grigiastro scuro (2.5Y 4/2 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite diffuso irregolare.
<i>Quota (m)</i>	0.99 m s.l.m.	C21: 105-150 cm; umido; colore grigio brunastro chiaro (5Y 6/2 – secco), colore bruno grigiastro scuro (2.5Y 4/2 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite diffuso lineare.
<i>Inclinazione versante</i>	% gradi	Cg: 150-180 cm; umido; colore grigio brunastro chiaro (5Y 6/2 – secco), colore grigio oliva (5Y 4/2 – umido), screziature grigio scuro (5Y 4/1 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite sconosciuto.
<i>Esposizione del versante</i>	gradi direzione	
<i>Fisiografia morfologia</i>	e Duna spianata, larga e discontinua	
<i>Erosione/ deposizione</i>		
<i>Rocciosità</i>	Assente	
<i>Pietrosità</i>	Assente	
<i>Aspetti superficiali</i>	Probabile terreno spianato	
<i>Uso del suolo / vegetazione</i>	Arborea: pini giovani, filanti, querce. (Rimboschimento recente). Arbustiva: pungitopo, asparago, rovo. Erbacea: graminacee.	
<i>Substrato pedologico o litologia</i>	Sabbie	

Scheda pedologica profilo BEL5

PROFILO BEL5	Class. USDA '06	<i>Mixed, calcareous, mesic Aquic Ustipsamments</i>
	Class. WRB '06	<i>Endogleyic Arenosols (Calcaric, Greyic)</i>

<i>Data rilievo:</i>	16/05/2006	Oi: 3-2 cm;
<i>Regione</i>	Emilia – Romagna	Oe: 2-1 cm;
<i>Provincia</i>	Ravenna	Oa: 1-0 cm; poco umido; limite abrupto lineare.
<i>Comune</i>	Ravenna	A: 0-12 cm; umido; colore bruno oliva chiaro (2.5Y 5/3 – secco), colore
<i>Località</i>	Bellocchio -Az. Orsi Magelli-	bruno grigiastro molto scuro (10YR 3/2 – umido), screziature grigio
<i>Coordinate UTM WGS84</i>	<i>x</i> = 281743 m <i>y</i> = 4943645 m	molto scuro (10YR 3/1 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente;
<i>Quota (m)</i>	0.50 m s.l.m.	struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non
<i>Inclinazione versante</i>	%	plastico; radici erbacee, scarse, fini e radici legnose, scarse, medie; pori
<i>Esposizione del versante</i>	gradi	interstiziali; effervescenza forte; limite graduale irregolare.
<i>Fisiografia morfologia</i>	e Depressione interduna. Avvallamenti, rialzi.	A/C: 12-36 cm; umido; colore grigio brunastro chiaro (2.5Y 6/2 - secco), colore bruno grigiastro scuro (2.5Y 4/2 – umido); tessitura
<i>Erosione/ deposizione</i>		sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e
<i>Rocciosità</i>	Assente	secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee molto scarse fini,
<i>Pietrosità</i>	Assente	medie e radici legnose scarse grosse; pori interstiziali; effervescenza
<i>Aspetti superficiali</i>		violenta; limite chiaro ondulato.
<i>Uso del suolo / vegetazione</i>	Arborea: pini deperienti e morti, quercia. Arbusti: pungitopo, asparago, biancospino. Erbacee: abbondante, graminacee.	Cg: 36-50 cm; molto umido; colore grigio brunastro chiaro (2.5Y 6/2 - secco), colore bruno oliva scuro (2.5Y 3/3 – umido), screziature grigio scuro (2.5Y 4/1); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici una grossa, andamento sub orizzontale e radici erbacee molto scarse fini; effervescenza violenta; limite abrupto irregolare. 2Cg1: 50-69 cm; bagnato; colore grigio oliva chiaro (5Y 6/2 – secco), colore grigio grigiastro scuro (GLEY1 4/10Y – umido), screziature bruno grigiastro scuro (2.5Y 4/2); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, molto scarse, medie; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite diffuso lineare. 2Cg2: 69-80+ cm; bagnato; colore grigio oliva chiaro (5Y 6/2 – secco), colore grigio grigiastro scuro (GLEY1 4/10Y – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite sconosciuto.
<i>Substrato podologico o litologia</i>	Sabbie	Falda a partire da 68 cm.

Scheda pedologica profilo BEL6

PROFILO BEL6		Class. USDA '06 Class. WRB '06	<i>Mixed, calcareous, mesic Aquic Ustipsamments</i> <i>Endogleyic Arenosols (Calcaric)</i>
<i>Data rilievo:</i>	16/05/2006	<p>Oi: 5-3 cm; lettiera poco decomposta di foglie e rametti</p> <p>Oe: 3-1 cm; lettiera mediamente decomposta di foglie e rametti</p> <p>Oa: 1-0 cm; lettiera molto decomposta; limite chiaro irregolare.</p> <p>A: 0-10 cm; poco umido; colore bruno oliva (2.5Y 4/4 – secco), colore bruno oliva (2.5Y 4/3 – umido), screziature grigio molto scuro (2.5Y 3/1); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, comuni, fini; pori interstiziali; effervescenza scarsa; limite chiaro irregolare.</p> <p>A/C: 10-35 cm; umido; colore bruno oliva chiaro (2.5Y 5/3 – secco), colore bruno oliva (2.5Y 4/3 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, scarse, fini e medie legnose, molto scarse, grosse; pori interstiziali; effervescenza forte; limite graduale ondulato.</p> <p>Cg1: 35-60 cm; umido; colore bruno oliva chiaro (2.5Y 5/3 – secco), colore bruno oliva (2.5Y 4/3 – umido); screziature bruno oliva (2.5Y 4/4); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, scarse, fini e legnose, scarse, medie; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite graduale irregolare.</p> <p>Cg2: 60-105 cm; umido; colore bruno oliva chiaro (2.5Y 5/3 – secco), colore bruno grigiastro scuro (2.5Y 4/2 – umido), screziature grigio molto scuro (2.5Y 3/1); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, molto scarse e fini; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite sconosciuto.</p> <p>2Cg: 105-140+ cm; umido; colore grigio oliva chiaro (5Y 6/2 – secco), colore grigio molto scuro (5Y 3/1 – umido); screziature grigio grigiastro molto scuro (GLEY1 3/10Y); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; pori interstiziali; effervescenza forte; limite sconosciuto.</p> <p>Falda a partire da 131cm.</p>	
<i>Regione</i>	Emilia – Romagna		
<i>Provincia</i>	Ravenna		
<i>Comune</i>	Ravenna		
<i>Località</i>	Bellocchio		
<i>Coordinate</i>	$x = 282624\ m$ $y = 4941627\ m$		
UTM WGS84			
<i>Quota (m)</i>	-0.48 m s.l.m.		
<i>Inclinazione versante</i>	%		
	gradi		
<i>Esposizione del versante</i>	gradi		
	direzione		
<i>Fisiografia morfologia</i>	e Piano ondulato		
<i>Erosione/ deposizione</i>			
<i>Rocciosità</i>	Assente		
<i>Pietrosità</i>	Assente		
<i>Aspetti superficiali</i>			
<i>Uso del suolo / vegetazione</i>	Arborea: quercia prevalente, 1 pino. Arbustiva: biancospino, rovo, pungitopo, olivastro. Erbacea: edera, asparago, graminacee.		
<i>Substrato pedologico o litologia</i>	Sabbie		

Scheda pedologica profilo BEL7

PROFILO BEL7	Class. USDA '06 Class. WRB '06	<i>Mixed, mesic Typic Psammaquents</i> <i>Endogleyic Arenosols (Calcaric)</i>
-----------------	-----------------------------------	--

Data rilievo:	15/05/2006	Oi: 2-1 cm; lettiera di residui erbacei poco decomposta.
Regione	Emilia – Romagna	Oa: 1-0 cm; lettiera di residui erbacei molto decomposta.
Provincia	Ravenna	A: 0-3 cm; poco umido; colore grigio brunastro chiaro (10YR 6/2 – secco) e colore bruno grigiastro molto scuro (10YR 3/2 – secco), bruno, bruno grigiastro molto scuro (10YR 3/2 – secco); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, comuni, fini; pori interstiziali; effervescenza molto scarsa; limite abrupto ondulato.
Comune	Ravenna	A/Cg: 3-11 cm; umido; colore bruno grigiastro (2.5Y 5/2 – secco), colore bruno grigiastro scuro (2.5Y 4/2 – umido), screziature bruno grigiastro molto scuro (2.5Y 3/2); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, scarse, fini; pori interstiziali; effervescenza molto scarsa; limite chiaro ondulato.
Località	Bellocchio -Az. Orsi Magelli-	2C: 11-21 cm; bagnato; colore bruno grigiastro (2.5Y 5/2 – secco), colore bruno grigiastro molto scuro (2.5Y 3/2 – umido); tessitura argillosa-limosa; scheletro assente; struttura poliedrica subangolare, media, con moderato grado di aggregazione; resistente (umido) e duro (asciutto); poco adesivo; plastico; radici erbacee, molto scarse, fini, andamento sub orizzontale; pori interstiziali; effervescenza molto scarsa; limite abrupto ondulato.
Coordinate UTM WGS84	x = 282160m y = 4940787 m	3C: 21-40+ cm; bagnato; colore grigio oliva chiaro (5Y 6/2 – secco), colore grigio oliva scuro (5Y 3/2 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, molto scarse, fini, andamento sub orizzontale; pori interstiziali; effervescenza forte; limite sconosciuto.
Quota (m)	-0.31 m s.l.m.	Falda a partire da 40 cm.
Inclinazione versante	% gradi	
Esposizione del versante	gradi direzione	
Fisiografia morfologia	e Depressione	
Erosione/ deposizione		
Rocciosità	Assente	
Pietrosità	Assente	
Aspetti superficiali		
Uso del suolo / vegetazione	Erbacea	
Substrato pedologico o litologia	Sabbie con intercalazioni fini	



Scheda pedologica profilo BEL8

PROFILO BEL8	Class. USDA '06 Class. WRB '06	<i>Mixed, calcareous, mesic Typic Ustipsamments</i> <i>Haplic Arenosols (Calcaric, Greyic)</i>
-----------------	-----------------------------------	---

<i>Data rilievo:</i>	15/05/2006	Oi: 4-3 cm; lettiera costituita da aghi di pino, residui vegetali poco decomposti; limite chiaro ondulato.
<i>Regione</i>	Emilia – Romagna	Oa: 3-0 cm; lettiera costituita da aghi di pino, residui vegetali molto decomposti; limite abrupto ondulato.
<i>Provincia</i>	Ravenna	A: 0-20 cm; poco umido; colore bruno oliva chiaro (2.5Y 5/3 – secco), colore bruno scuro (10YR 3/3 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee e legnose, molte, medie, andamento sub orizzontale; pori interstiziali; effervescenza forte; limite chiaro ondulato.
<i>Comune</i>	Ravenna	A/C: 20-50 cm; umido; colore bruno oliva chiaro (2.5Y 5/3 – secco), colore bruno giallastro chiaro (10YR 3/4 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, poche, medie, andamento sub orizzontale; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite chiaro ondulato.
<i>Località</i>	Bellocchio -Az. Orsi Magelli-	C11: 50-60 cm; umido; colore bruno oliva chiaro (2.5Y 5/3 – secco), colore bruno giallastro scuro (10YR 3/4 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, molto scarse, molto fini; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite diffuso ondulato.
<i>Coordinate UTM WGS84</i>	<i>x</i> = 281792 m <i>y</i> = 4940635 m	C12: 60-93 cm; umido; colore bruno oliva chiaro (2.5Y 5/3 – secco), colore bruno giallastro scuro (10YR 3/6 – umido), screziature brune (10YR 4/3); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, molto scarse, medie; pori interstiziali; effervescenza forte; limite abrupto lineare.
<i>Quota (m)</i>	1.03 m s.l.m.	C13: 93-120 cm; molto umido; colore bruno giallastro chiaro (2.5Y 6/3 – secco), colore bruno rossastro (2.5Y 4/3 - umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza forte; limite diffuso lineare. 2C: 120-175+ cm; bagnato; colore grigio brunastro chiaro (2.5Y 6/2 – secco), colore rosso debole (2.5Y 4/2 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite sconosciuto.
<i>Inclinazione versante</i>	% gradi	
<i>Esposizione del versante</i>	gradi direzione	
<i>Fisiografia morfologia</i>	e Sommità di duna con spianata carrareccia.	
<i>Erosione/deposizione</i>		
<i>Rocciosità</i>	Assente	
<i>Pietrosità</i>	Assente	
<i>Aspetti superficiali</i>		
<i>Uso del suolo / vegetazione</i>	Arborea: Pino, acacia, quercia. Arbustiva: asparago, rovi pungitopo. Erbacea	
<i>Substrato pedologico o litologia</i>	Sabbie	

Falda a partire da 160 cm.



Scheda pedologica profilo BEL9

PROFILO BEL9	Class. USDA '06 Class. WRB '06	<i>Mixed, calcareous, mesic Typic Ustipsamments</i> <i>Haplic Arenosols (Calcaric)</i>
-----------------	-----------------------------------	---

<i>Data rilievo:</i>	15/05/2006	Oi: 4-2 cm; lettiera poco decomposta, aghi di pino, foglie, frammenti di pigna; limite abrupto ondulato.
<i>Regione</i>	Emilia – Romagna	Oa: 2-0 cm; lettiera molto decomposta, aghi di pino, foglie, frammenti di pigna; limite abrupto ondulato.
<i>Provincia</i>	Ravenna	A: 0-28 cm; poco umido; colore bruno oliva (2.5Y 4/3 – secco), colore bruno giallastro scuro (10YR 3/4 – umido), screziature bruno (10YR 4/3); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, poche, fini, andamento sub orizzontale e radici legnose, molto poche, grosse e molto grosse; pori interstiziali; effervescenza scarsa; limite chiaro ondulato.
<i>Comune</i>	Ravenna	A/C: 28-50 cm; umido; colore bruno oliva chiaro (2.5Y 5/3 – secco), colore bruno oliva (2.5Y 4/3 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, molto poche, fini, radici legnose, molto poche, medie; pori interstiziali; effervescenza forte; limite graduale ondulato.
<i>Località</i>	Bellocchio -Az. Orsi Magelli-	C1: 50-78 cm; umido; colore grigio brunastro chiaro (2.5Y 6/2 – secco), colore bruno grigiastro scuro (2.5Y 4/2 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, molto scarse, fini, una radice legnosa, media; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite graduale ondulato.
<i>Coordinate UTM WGS84</i>	<i>x = 281503 m</i> <i>y = 4942359 m</i>	C21: 78-93 cm; umido; colore grigio brunastro chiaro (2.5Y 6/2 – secco), colore bruno grigiastro (2.5Y 5/2 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; una radice legnosa, media a 88 cm; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite chiaro ondulato.
<i>Quota (m)</i>	0.72 m s.l.m.	C22: 93-130 cm; umido; colore grigio brunastro chiaro (2.5Y 6/2 – secco), colore bruno grigiastro (2.5Y 5/2 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite chiaro ondulato.
<i>Inclinazione versante</i>	% gradi	C3: 130-165+ cm; molto umido; colore grigio brunastro chiaro (2.5Y 6/2 – secco), colore bruno grigiastro scuro (2.5Y 4/2 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite sconosciuto.
<i>Esposizione del versante</i>	gradi direzione	
<i>Fisiografia morfologia</i>	e Sommità di duna con carrareccia spianata.	
<i>Erosione/ deposizione</i>		
<i>Rocciosità</i>	Assente	
<i>Pietrosità</i>	Assente	
<i>Aspetti superficiali</i>		
<i>Uso del suolo / vegetazione</i>	Arborea: Pini in parte inclinati, acacia, quercia. Arbustiva: asparago, rovi pungitopo, edera, biancospino. Erbacea abbondante	
<i>Substrato pedologico o litologia</i>	Sabbie	



Scheda pedologica profilo BEL10

PROFILO BEL10	Class. USDA '06 Class. WRB '06	<i>Mixed, mesic Typic Psammaquents</i> <i>Endogleyic Arenosols (Calcaric, Hyposalic, Greyic)</i>
------------------	-----------------------------------	---

<i>Data rilievo:</i>	15/05/2006	Oi: 3-2 cm; edera, residui poco decomposti.
<i>Regione</i>	Emilia – Romagna	Oa: 2-0 cm; edera, residui molto decomposti.
<i>Provincia</i>	Ravenna	A: 0-9 cm; umido; colore tra bruno grigiastro (2.5Y 5/2 – secco) e bruno grigiastro molto scuro (2.5Y 3/2 – secco), colore bruno grigiastro molto scuro (2.5Y 3/2 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, molte, fini; pori interstiziali; effervescenza assente; limite abrupto ondulato.
<i>Comune</i>	Ravenna	A/Cg: 9-21 cm; molto umido; colore bruno oliva chiaro (2.5Y 5/3 – secco), colore bruno oliva (2.5Y 4/4 – umido); screziature bruno grigiastro molto scuro (2.5Y 3/2); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, scarse, fini, andamento sub orizzontale, una radice legnosa, media; pori interstiziali; effervescenza assente; limite chiaro irregolare.
<i>Località</i>	Bellocchio -Az. Orsi Magelli-	Cg1: 21-43 cm; bagnato; colore grigio oliva chiaro (5Y 6/2 – secco), colore oliva (5Y 5/3 – umido), screziature grigio verdastro scuro (GLEY1 4/10Y); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, scarse, fini e radici legnose, molto scarse, medie, andamento sub orizzontale; pori interstiziali; effervescenza scarsa; limite graduale irregolare.
<i>Coordinate UTM WGS84</i>	$x = 281538\ m$ $y = 4942369\ m$	Cg2: 43-63+ cm; bagnato; colore grigio oliva chiaro (5Y 6/2 – secco), colore grigio oliva (5Y 5/2 – umido), screziature torbose nero bluastro (GLEY2 2.5/5PB); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, molto scarse, fini; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite sconosciuto.
<i>Quota (m)</i>	0.35 m s.l.m.	Falda a partire da 58 cm.
<i>Inclinazione versante</i>	% gradi	
<i>Esposizione del versante</i>	gradi direzione	
<i>Fisiografia morfologia</i>	e Zona depressa ai piedi della duna dove vi è il BEL9.	
<i>Erosione/deposizione</i>		
<i>Rocciosità</i>	Assente	
<i>Pietrosità</i>	Assente	
<i>Aspetti superficiali</i>		
<i>Uso del suolo / vegetazione</i>	Arborea: pochissimi Pini deperienti, alcuni accasciati, quercus abbondante. Arbustiva: asparago, rovi pungitopo, edera. Erbacea abbondante	
<i>Substrato pedologico o litologia</i>	Sabbie	




Scheda pedologica profilo BEL11

PROFILO BEL11	Class. USDA '06 Class. WRB '06	<i>Mixed, calcareous, mesic Typic Ustipsamments</i> <i>protic Arenosols (Calcaric)</i>
<i>Data rilievo:</i>	16/05/2006	Oi: 2.5-2 cm; sottile lettiera di foglie indecomposte.
<i>Regione</i>	Emilia – Romagna	Oe: 2-0 cm; poco umido; scuro, materiale decomposto, foglie querce, edera; limite abrupto ondulato.
<i>Provincia</i>	Ravenna	A: 0-12 cm; umido; colore bruno oliva chiaro (2.5Y 5/3 – secco), colore
<i>Comune</i>	Ravenna	bruno oliva (2.5Y 4/3 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente;
<i>Località</i>	Bellocchio -Az. Orsi Magelli-	struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non
<i>Coordinate UTM WGS84</i>	<i>x</i> = 281346 m <i>y</i> = 4944493 m	plastico; radici legnose molto poche, medie e radici legnose, molto
<i>Quota (m)</i>	0.58 m s.l.m.	poche, grosse; pori interstiziali; effervescenza forte; limite chiaro
<i>Inclinazione</i>	%	ondulato.
<i>versante</i>	gradi	A/C: 12-40 cm; umido; colore oliva pallido (5Y 6/3 – secco), colore
<i>Esposizione</i>	gradi	bruno grigiastro scuro (2.5Y 4/2 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro
<i>del versante</i>	direzione	assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo;
<i>Fisiografia morfologia</i>	e Apice di duna con andamento parallelo al mare.	non plastico; radici legnose, molto poche, medie; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite graduale ondulato.
<i>Erosione/ deposizione</i>		C11: 40-73 cm; umido; colore oliva pallido (5Y 6/3 – secco), colore
<i>Rocciosità</i>	Assente	bruno oliva (2.5Y 4/3 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente;
<i>Pietrosità</i>	Assente	struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non
<i>Aspetti superficiali</i>		plastico; una radice legnosa, media; pori interstiziali; effervescenza
<i>Uso del suolo / vegetazione</i>	Arborea: leccio, pino, quercia. Arbustiva: asparago, finocchio, pungitopo, biancospino, tappeto a terra di edera. Erbacea assente.	violenta; limite diffuso lineare. C21: 120-155 cm; umido; colore oliva pallido (5Y 6/3 – secco), colore bruno oliva (2.5Y 4/3 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite diffuso lineare. C22: 155-187+ cm; umido; colore bruno oliva chiaro (2.5Y 5/3 – secco), colore bruno oliva (2.5Y 4/4 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite sconosciuto.
<i>Substrato pedologico o litologia</i>	Sabbie	

Scheda pedologica profilo BEL12

PROFILO BEL12	Class. USDA '06 Class. WRB '06	<i>Mixed, mesic Typic Psammaquents</i> <i>Endogleyic Arenosols (Calcaric, Hyposalic, Greyic)</i>
<i>Data rilievo:</i>	16/05/2006	Oi: 9-6 cm; lettiera di foglie, pigne, rametti indecomposti.
<i>Regione</i>	Emilia – Romagna	Oe: 6-3 cm; lettiera di foglie, pigne, rametti poco decomposti.
<i>Provincia</i>	Ravenna	Oa: 3-0 cm; lettiera di foglie, pigne, rametti molto decomposti.
<i>Comune</i>	Ravenna	A: 0-7 cm; umido; colore tra bruno grigiastro molto scuro (10YR 3/2 – secco) e bruno grigiastro (2.5Y 5/2 – secco), colore nero (10YR 2/1 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente;
<i>Località</i>	Bellocchio nord	incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici erbacee, comuni fini e radici legnose, molto scarse, medie; pori interstiziali;
<i>Coordinate UTM WGS84</i>	<i>x</i> = 281387 m <i>y</i> = 4944393 m	effervescenza molto scarsa; limite chiaro ondulato.
<i>Quota (m)</i>	0.81 m s.l.m.	A/Cg: 7-18 cm; molto umido; colore oliva pallido (5Y 6/3 – secco), colore bruno grigiastro molto scuro (2.5Y 3/2 – umido), screziature grigio molto scuro (2.5Y 3/1); tessitura sabbiosa; scheletro assente;
<i>Inclinazione versante</i>	%	struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, scarse, medie e radici erbacee, scarse, fini; pori interstiziali; effervescenza forte; limite abrupto ondulato.
<i>Esposizione del versante</i>	gradi	Cg1: 18-36 cm; bagnato; colore grigio oliva chiaro (5Y 6/2 – secco), colore grigio scuro (5Y 4/1 – umido), screziature grigio molto scuro (2.5Y 3/1); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici legnose, scarse, medie e radici erbacee, scarse, fini; pori interstiziali; effervescenza forte; limite abrupto ondulato.
<i>Fisiografia morfologia</i>	e Zona depressa nella foresta antica a nord.	Cg2: 36-53 cm; bagnato; colore grigio chiaro (5Y 7/2 – secco), colore grigio scuro (5Y 4/1 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza forte; limite sconosciuto.
<i>Erosione/deposizione</i>		Falda a partire da 36 cm.
<i>Rocciosità</i>	Assente	
<i>Pietrosità</i>	Assente	
<i>Aspetti superficiali</i>		
<i>Uso del suolo / vegetazione</i>	Arborea: leccio, quercia, pochi pini deperienti, alcuni ribaltati. Arbustiva: pungitopo, edera. Erbacea: edera e asparago.	
<i>Substrato pedologico o litologia</i>	Sabbie	

Scheda pedologica profilo BELT1

TRIVELLATA BELT1		Class. USDA '06	<i>Mixed, calcareous, mesic Aquic Ustipsamments</i>
		Class. WRB '06	<i>Endogleyic Arenosols (Calcaric)</i>
<i>Data rilievo:</i>	15/05/2006	<p>A: 0-25 cm; poco umido; colore bruno oliva chiaro (2.5Y 5/3 – secco), colore bruno grigiastro scuro (2.5Y 4/2 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza forte; limite non identificabile.</p> <p>A/Cg: 25-64 cm; umido; colore oliva pallido (5Y 6/3 – secco), colore bruno grigiastro (2.5Y 5/2 – umido), screziature bruno (10YR 4/3); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite non identificabile.</p> <p>Cg11: 64-80cm; bagnato; colore oliva pallido (5Y 6/3 – secco), colore oliva (5Y 4/3 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite non identificabile.</p> <p>Cg12: 80-100 cm; bagnato; colore oliva pallido (5Y 6/3 – secco), colore oliva (5Y 4/3 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente, struttura incoerente, consistenza incoerente, non adesivo, non plastico, radici assenti; pori interstiziali, effervescenza violenta; limite non identificabile.</p> <p>2Cg: 100-140 cm; bagnato; colore grigio oliva (5Y 5/2 – secco), colore grigio oliva (5Y 4/2 – umido), screziature nero (10YR 2/1); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza violenta; limite non identificabile.</p> <p>3Cg: 140-150 cm; bagnato; colore grigio oliva chiaro (5Y 6/2 – secco), colore grigio oliva scuro (5Y 3/2 – umido); tessitura sabbiosa; scheletro assente; struttura incoerente; incoerente (umido e secco); non adesivo; non plastico; radici assenti; pori interstiziali; effervescenza forte.</p> <p>Falda a partire da 64 cm.</p>	
<i>Regione</i>	Emilia – Romagna		
<i>Provincia</i>	Ravenna		
<i>Comune</i>	Ravenna		
<i>Località</i>	Bellocchio		
	-Az. Orsi Magelli-		
<i>Coordinate UTM WGS84</i>	x = 282491m		
	y = 4941399 m		
<i>Quota (m)</i>	-0.08 m s.l.m.		
<i>Inclinazione versante</i>	%		
	gradi		
<i>Esposizione del versante</i>	gradi		
	direzione		
<i>Fisiografia morfologia</i>	e Zona pianeggiante a fianco alla strada principale.		
<i>Erosione/ deposizione</i>			
<i>Rocciosità</i>	Assente		
<i>Pietrosità</i>	Assente		
<i>Aspetti superficiali</i>			
<i>Uso del suolo / vegetazione</i>	Arborea: pioppi capitozzati, acacie rade. Prato con arbusti di rovo molto radi.		
<i>Substrato pedologico o litologia</i>	Sabbie		
			

ALLEGATO 2

CARTOGRAFIA PEDOLOGICA

Carta dei Suoli della Pineta di San Vitale in scala 1:20000

(immagine)

Carta dei Suoli delle aree boscate di Bellocchio in scala 1:10000

(immagine)

Carta dei suoli della Pineta di San Vitale in scala 1:20000 (immagine)

